

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



**FEUP**

# **NEWALK LOG - Logística Flexível e Integrada da Planta Fabril**

**Pedro Miguel Sousa Nunes Godinho Teixeira**

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Jorge Pinho de Sousa (Professor)

Orientador: Rui Diogo Rebelo (Engenheiro)

15 de Abril de 2013

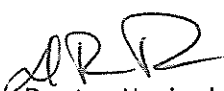



A Dissertação intitulada

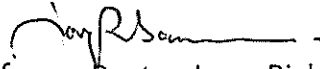
“Logística Flexível e Integrada da Planta Fabril”

foi aprovada em provas realizadas em 09 Abril 2013

o júri


  
Presidente Professor Doutor Maria do Rosário Marques Fernandes Teixeira de Pinho  
Professora Associada do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

  
Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho  
Professor Associado do Departamento de Produção e Sistemas da Escola de  
Engenharia da Universidade do Minho

  
Professor Doutor Jorge Pinho de Sousa  
Professor Associado do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

  
Professor Doutor Rui Diogo Rebelo  
Investigador do INESC-Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.

  
Autor - Pedro Miguel Sousa Nunes Godinho Teixeira

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto





# Resumo

Um dos principais problemas que a indústria de calçado tem vindo a sentir é que os mercados cada vez mais procuram lotes de menores dimensões e com prazos de entrega mais curtos. As empresas neste sector encontravam-se mais ajustadas para dar resposta a lotes de grandes dimensões e por isso, as metodologias que funcionavam eficientemente nesse cenário deixaram de dar a resposta desejada. Existe por isso a necessidade de preparar estas empresas com a capacidade de responder às novas necessidades do mercado. A preparação passa entre várias coisas por uma melhor organização interna, por exemplo, dotar as empresas de ‘layouts’ fabris mais racionais e um melhor armazenamento e movimentação de materiais. A distribuição física dos equipamentos ao longo do processo produtivo pode não estar adequada às quantidades e à diversidade de produtos produzidos. Também o modo como se deve armazenar os materiais varia com as quantidades e diversidades, devendo o processo de armazenamento estar adequado a realidade cada empresa. Adequando as empresas à realidade atual do mercado, pode levar a redução de custos, minimização, de movimentação de materiais e pessoas. Orientar a produção ao produto, quer com linhas quer com células é a solução frequente. Implantações mais racionais por parte das empresas levam normalmente aos mesmos ganhos significativos de produtividade. Considerando o problema da indústria do calçado, o modelo a ser desenvolvido e estudado procura levar a modernização a esta indústria desenvolvendo um sistema de armazenamento automático. O objetivo passa por estudar estes sistemas percebendo qual o sistema que melhor se adapta a esta indústria, percebendo qual pode ser o ganho que estas podem tirar deste tipo de sistemas. O sistema desenvolvido é composto por um sistema automático de movimentação de materiais num armazém de matéria-prima, e um sistema externo ao armazém que consiste num sistema de movimentação de tapetes. O tema central abordado nesta dissertação é o desenvolvimento de um modelo de simulação, recorrendo a ferramenta ARENA, que possibilite testar o desempenho de um armazém com os requisitos definidos. São testados dois cenários de modo a verificar o comportamento do sistema em ambos, permitindo verificar diferenças de performance. O modelo de simulação desenvolvido é apresentado através de uma pequena animação que foi desenvolvida, permitindo ilustrar o modo de funcionamento do sistema.



# Abstract

One of the main problems that the shoe industry has been feeling is that markets increasingly seek lots of smaller dimensions and shorter delivery times. Companies in this sector were more adjusted to meet lots of great dimensions and therefore the methodologies that worked efficiently in this scenario failed to give the desired response. There is the need to prepare these companies with the ability to respond to changing market. The preparation consist in several things, like, going for better internal organization, for example, provide companies with 'layouts' manufacturing more rational and better storage and materials handling. Physical distribution of equipment throughout the production process may not be adequate o the quantities and diversity of products produced. Also how they should store the materials varies with the quantity and diversity, and the storage process be suitable for every business reality. Suiting companies to the current reality of the market can lead to cost reduction, minimization, material handling and people. Bringing production to the product, with cell or lines is often the solution. More rational deployments by enterprises usually take the same significant productivity gains. Considering the problem of the shoe industry, the model to be developed and studied demand lead to the modernization of this industry by developing a system for automatic storage. The aim is to study these systems realizing what system best fits this industry, which may be realizing that they can gain out of this type of systems. The system developed is composed of an automatic material handling in a warehouse feedstock, and the external storage system consisting of a drive system carpet. The central issue addressed in this dissertation is the development of a simulation model, using ARENA tool, enabling to test the performance of a warehouse with the requirements set. Two scenarios are tested in order to verify the behavior of the system in both, checking performance differences. The simulation model developed is presented through a short animation that was developed, illustrating the operation of the system.





# Agradecimentos

À minha Família, a melhor do mundo, obrigado pelo apoio!

Aos meus colegas que sempre estiveram presentes!



*‘À MEMÓRIA DO MEU PAI’*



# Conteúdo

<b>Agradecimentos</b>	<b>v</b>
<b>1 Contexto e Problema</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Caso de Estudo . . . . .	2
1.4 Metodologia Utilizada . . . . .	3
1.5 Organização do Documento . . . . .	3
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1 Logística . . . . .	5
2.1.1 Valor Acrescentado da Logística . . . . .	6
2.1.2 Funções da Logística . . . . .	7
2.1.3 Logística Interna . . . . .	7
2.2 Armazenamento . . . . .	7
2.2.1 O Papel do Armazenamento nas Organizações . . . . .	8
2.2.2 Armazéns . . . . .	8
2.2.3 Princípios e Funções dos Sistemas de Armazenamento . . . . .	9
2.2.4 Funções e Operações dos Sistemas de Armazenagem . . . . .	9
2.2.5 Sistemas e Equipamentos de Armazenamento . . . . .	9
2.2.6 Sistemas e Equipamentos de Movimentação de Materiais . . . . .	10
2.2.7 Tipos de Armazéns . . . . .	10
2.2.8 Armazéns Automáticos e Armazéns Manuais . . . . .	11
2.3 Stocks . . . . .	11
2.3.1 Análise ABC e Gestão de Stocks . . . . .	12
2.4 Simulação . . . . .	13
2.4.1 Introdução à Simulação . . . . .	13
2.4.2 Conceitos de Simulação . . . . .	14
2.4.3 Simulação . . . . .	18
2.4.4 Ferramentas de Simulação . . . . .	23
<b>3 Metodologia Adotada</b>	<b>27</b>
3.1 Introdução . . . . .	27
3.2 Metodologia . . . . .	27
3.2.1 Informações e Dados Necessários . . . . .	28
3.2.2 Projeto . . . . .	29

<b>4</b>	<b>Caso de Estudo</b>	<b>35</b>
4.1	Requisitos do Sistema . . . . .	35
4.2	Soluções de Armazenamento . . . . .	35
4.2.1	Soluções Analisadas . . . . .	35
4.2.2	Soluções Escolhida . . . . .	39
4.2.3	Especificação do Sistema . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Modelo de Simulação</b>	<b>43</b>
5.1	Introdução . . . . .	43
5.2	Desenvolvimento . . . . .	43
5.2.1	Lógica de Controlo do Sistema . . . . .	43
5.2.2	Ferramenta de Simulação Arena . . . . .	48
5.2.3	Modelo Desenvolvido . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>63</b>
6.1	Introdução . . . . .	63
6.2	Verificação e Validação do Modelo . . . . .	63
6.3	Cenários de Simulação . . . . .	64
6.4	Resultados Obtidos . . . . .	65
<b>7</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>69</b>
7.1	Conclusões . . . . .	69
7.2	Trabalhos Futuros . . . . .	69
<b>A</b>	<b>Anexos</b>	<b>71</b>
	<b>Referências</b>	<b>75</b>

# Lista de Figuras

2.1	Fluxo Físico de Materiais e Informacional da Logística . . . . .	6
2.2	Cadeia de Valor de Porter . . . . .	6
2.3	Dimensões da Logística . . . . .	6
2.4	Modelos usados no Estudo de Sistemas [10] . . . . .	14
2.5	Os sete passos de abordagem a um problema de simulação [19] . . . . .	20
2.6	Simulação por Computador, Flexibilidade vs Facilidade de utilização [21] . . . . .	25
4.1	Transelevador para caixas da Mecalux . . . . .	36
4.2	AutoStore da SwissLog . . . . .	36
4.3	Robô utilizado na solução AutoStore da SwissLog . . . . .	37
4.4	Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS . . . . .	37
4.5	Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS . . . . .	37
4.6	Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS . . . . .	38
4.7	Shuttle da TGW, Stingray Shuttle Solution . . . . .	38
4.8	Shuttle da TGW, Stingray Shuttle Solution . . . . .	38
4.9	Shuttle e Sistema Auxiliar para Movimentação entre as várias Prateleiras em Altura . . . . .	39
4.10	Distribuição das referências pelos andares do Armazém . . . . .	41
5.1	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material . . . . .	44
5.2	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material - Parcial . . . . .	45
5.3	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Ordens de Produção . . . . .	46
5.4	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Ordens de Produção - Parcial . . . . .	47
5.5	Lógica de Controlo 1 . . . . .	49
5.6	Lógica de Controlo 2 . . . . .	50
5.7	Lógica de Controlo 3 . . . . .	50
5.8	Lógica de Controlo 4 . . . . .	51
5.9	Lógica de Controlo 5 . . . . .	52
5.10	Lógica do Sistema 1 . . . . .	52
5.11	Lógica do Sistema 2 . . . . .	53
5.12	Lógica do Sistema 3 . . . . .	54
5.13	Lógica do Sistema 4 . . . . .	54
5.14	Lógica do Sistema 5 . . . . .	55
5.15	Lógica do Sistema 6 . . . . .	55
5.16	Lógica do Sistema 7 . . . . .	56
5.17	Lógica do Sistema 8 . . . . .	56
5.18	Lógica do Sistema 9 . . . . .	57
5.19	Lógica para Carregamento de Material 1 . . . . .	57



5.20	Lógica para Carregamento de Material 2 . . . . .	58
5.21	Lógica para Carregamento de Material 3 . . . . .	58
5.22	Lógica para Ordens de Produção . . . . .	59
5.23	Representação da Animação do Armazém . . . . .	60
5.24	Representação da Animação do AGV e Elevador . . . . .	61
6.1	Cenários de Produção . . . . .	65
6.2	Tempos de Simulação Obtidos para os Cenários com um AGV . . . . .	66
6.3	Taxas de Ocupação para a Simulação dos Cenários com um AGV . . . . .	66
6.4	Tempos de Simulação Obtidos para os Cenários com dois AGV . . . . .	66
6.5	Taxas de Ocupação para a Simulação dos Cenários com dois AGV . . . . .	67
A.1	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material . . . . .	72
A.2	Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Ordens de Produção . . . . .	73

# Lista de Tabelas

2.1	Vantagens e Desvantagens de Sistemas de Armazenagem Automática . . . . .	11
-----	--	----



# Abreviaturas e Símbolos

WWW	<i>World Wide Web</i>
Dep.	<i>Departamento</i>
Eng.º	<i>Engenheiro</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
OF	<i>Ordens de Fabrico</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
OP	<i>Ordem de Produção</i>
FIFO	<i>First In - First Out</i>
LIFO	<i>Last In- First Out</i>
INESC Porto	<i>Porto Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto</i>
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
CTCP	<i>Centro Tecnológico do Calçado de Portugal</i>
DEEC	<i>Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores</i>



# Capítulo 1

## Contexto e Problema

Este capítulo contextualiza o trabalho que foi desenvolvido nesta dissertação. Este inicia-se com o enquadramento e motivação, definição dos objetivos e problemas, bem como a referência à metodologia seguida ao longo da dissertação.

### 1.1 Enquadramento e Motivação

O projeto a ser desenvolvido enquadra-se na reestruturação da indústria do calçado nacional, uma das maiores do mundo mas não das mais competitivas. O objetivo é reinventar esta indústria tornando-a menos tradicional, mais competitiva e inovadora de modo a ser capaz de dar respostas as necessidades do mercado mundial.

Este projeto a ser desenvolvido pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto (INESC Porto) conta com o apoio de várias empresas do setor do calçado, bem como o apoio do Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP), que procuram levar a inovação e tecnologia a indústria do calçado português.

Nos dias correntes, e com o aumento da concorrência e a perda do poder de compra dos mercados, as empresas vêem-se forçadas a procurar novas formas de se adaptar ao mercado e reduzir custos de produção. Neste ponto a inovação e a tecnologia surgem de modo natural para procurar dar resposta aos problemas que afetam o mundo empresarial, neste caso em específico da indústria do calçado nacional. Num mundo cada vez mais competitivo, e onde o interesse dos clientes varia rapidamente como na indústria da moda, é necessário ter a capacidade de dar respostas rápidas e imediatas à vontade dos clientes para ser possível alcançar o sucesso.

Para alcançar esse sucesso é necessário reestruturar a indústria que se encontra desatualizada da realidade, sendo necessário recorrer à inovação e tecnologia para colocar novamente a indústria do calçado na rota do sucesso.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal da dissertação é conceber um conceito de logística inovador que terá como objetivo garantir o armazenamento e a distribuição dos materiais à produção, na indústria do calçado, numa lógica de uma nova filosofia de organização de fluxos produtivos e de gestão e produção par-a-par. Será especificado uma nova forma de armazenamento e movimentação de contentores com dimensões e capacidades variáveis adequado ao *mix* de artigos com propriedades distintas quer de peso, de volume, e de requisitos de agrupamento. Será necessário especificar um sistema de distribuição flexível prevendo a integração aos principais pontos de abastecimento integrado às linhas de produção e subcontratados. Este sistema será responsável pela distribuição e recolha dos materiais com diferentes formatos, pesos e dimensões aos pontos de ligação (entrada/saída) em produção ao longo de diversas fases produtivas.

Este projeto tem por base o desenvolvimento de uma solução de armazenamento e movimentação de materiais, que estuda a implementação de um sistema de movimentação de caixas com o objetivo de serem armazenadas de forma eficiente de modo a ser possível abastecer a produção sem atrasos e de modo preciso.

Os objetivos definidos para esta dissertação passam pelo desenvolvimento de uma metodologia para a conceção e validação de um sistema de armazenamento, culminando numa simulação que permita perceber qual a viabilidade da solução desenvolvida para um sistema de movimentação e armazenamento de materiais. Sendo necessário perceber qual a sua capacidade máxima de movimentação de caixas num determinado período de tempo, foi desenvolvido um modelo de simulação.

O modelo de simulação foi desenvolvido recorrendo ao software ARENA.

## 1.3 Caso de Estudo

Um dos principais problemas que a indústria de calçado tem vindo a sentir é que os mercados cada vez mais procuram lotes de menores dimensões e com prazos de entrega mais curtos. As empresas neste sector encontravam-se mais ajustadas para dar resposta a lotes de grandes dimensões e por isso, as metodologias que funcionavam eficientemente nesse cenário deixaram de dar a resposta desejada. Existe por isso a necessidade de preparar estas empresas com a capacidade de responder às novas necessidades do mercado. A preparação passa entre várias coisas por uma melhor organização interna, por exemplo, dotar as empresas de '*layouts*' fabris mais racionais e um melhor armazenamento e movimentação de materiais. A distribuição física dos equipamentos ao longo do processo produtivo pode não estar adequada às quantidades e à diversidade de produtos produzidos. Também o modo como se deve armazenar os materiais varia com as quantidades e diversidades, devendo o processo de armazenamento estar adequado à realidade de cada empresa. Adequando as empresas à realidade atual do mercado, pode levar a redução de custos, minimização, de movimentação de materiais e pessoas. Orientar a produção ao produto, quer com linhas quer com células é a solução frequente. Implantações mais racionais por parte das empresas levam

normalmente às mesmas ganhos significativos de produtividade. Observando o dia-a-dia da planta fabril de uma empresa, verifica-se a existência de uma permanente movimentação muitas vezes “desorientada” e desorganizada de pessoas, materiais e produtos. Analisando as causas dessas movimentações, constata-se que tal se deve sobretudo à cada vez maior dificuldade na implementação de processos organizacionais e procedimentos mais consistentes, que podem permitir aos operadores organizar criteriosamente os planos de produção, dado o acentuado aumento do volume de encomendas de pequenas quantidades de modelos distintos que atualmente caracterizam o sector do calçado.

Considerando o problema da indústria do calçado, o modelo a ser desenvolvido e estudado procura levar a modernização à indústria do calçado desenvolvendo um sistema de armazenamento automático. O objetivo passa por estudar estes sistemas percebendo qual o sistema que melhor se adapta a esta indústria, percebendo qual pode ser o ganho que estas podem tirar deste tipo de sistemas.

## **1.4 Metodologia Utilizada**

A metodologia seguida nesta dissertação consistiu em realizar um levantamento da fundamentação teórica relativo aos sistemas de movimentação de materiais e ao modo como este problema deve ser abordado, tendo sido realizada uma revisão bibliográfica recorrendo a dissertações, artigos e livros que constam da literatura da especialidade. Foi estudado qual o melhor modo para abordar um problema de conceção e desenvolvimento de uma solução de armazenamento, recorrendo a livros e artigos científicos.

O projeto foi desenvolvido no INESC Porto, que possui uma parceria com a indústria do calçado portuguesa.

Para proceder à validação do sistema desenvolvido, foram estudadas várias ferramentas, tendo-se chegado a conclusão que a melhor ferramenta para validar o sistema era o software Arena.

## **1.5 Organização do Documento**

O presente documento, tal como mencionado, refere-se a uma dissertação sobre o tema Newalk Log, logística flexível e integrada da planta fabril, encontrando-se dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo do documento encontra-se o contexto e problema, que serve como apresentação à dissertação a desenvolver e onde se encontra descrito o enquadramento e motivação para a realização da mesma, os objetivos que se propõe atingir, e a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos. É neste capítulo que também é possível encontrar uma breve descrição do caso de estudo.

Por sua vez, no segundo capítulo encontra-se descrito o levantamento efetuado em termos do estado da arte, sendo inicialmente abordado o tema da logística de modo a ser possível perceber o que é, e qual a sua utilidade. Posteriormente foram identificadas algumas ferramentas e filosofias úteis, sendo por fim identificados modelos existentes de soluções ao nível da logística interna. Foi



dada importância e relevância à definição de simulação que é importante para esta dissertação, assim como os vários tipos de simulação que existem e as ferramentas mais apropriadas para a realizar de forma mais eficaz e eficiente.

O terceiro capítulo é dedicado ao desenvolvimento de uma metodologia que permite abordar de um modo geral todo e qualquer problema que seja colocado, e que se encontre de alguma forma relacionado com o problema deste caso de estudo. É ainda efetuado um primeiro levantamento de vários sistemas de armazenagem existentes, sendo escolhido um desses sistemas. É descrito o princípio de funcionamento do sistema, assim como todos os elementos que o constituem.

No quarto capítulo foi desenvolvido um modelo de simulação com base nos requisitos e soluções encontradas, sendo este capítulo importante para validar a solução. A simulação foi realizada recorrendo ao software ARENA.

O quinto capítulo é dedicado á análise dos resultados obtidos do desenvolvimento do modelo de simulação do capítulo anterior, sendo apresentados os resultados e explicados os mesmos. Neste capítulo é discutido se os resultados obtidos vão de encontro ao que era expectável. Por fim, no sexto capítulo é realizada uma conclusão do trabalho desenvolvido e são feitas algumas sugestões de trabalhos futuros.

No final do documento são apresentadas todas as referências bibliográficas utilizadas na realização desta dissertação e que serviram de suporte à concretização da mesma.

## Capítulo 2

# Estado da Arte

Neste capítulo procura-se fazer um estado da arte cobrindo metodologias, ferramentas e filosofias existentes que são muito importantes no desenvolvimento do trabalho.

As metodologias, ferramentas e filosofias apresentadas neste capítulo têm por base livros, artigos científicos, documentação académica e outras dissertações já concluídas.

### 2.1 Logística

A logística é vista nos dias de hoje como uma área de grande importância na Cadeia de Abastecimento, mas apenas na última metade do século XX é que lhe foi conferida grande notoriedade. Durante todo este período de tempo a logística passou de uma atividade débil e escassamente necessária, para uma atividade onde existia potencial para reduzir significativamente os custos produzindo um impacto positivo na satisfação dos clientes, consequentemente permitindo o aumento das vendas. A logística começou a ser vista como uma importante arma de marketing para se obter vantagem competitiva. Peter Drucker (1962), referiu-se à logística como uma das áreas mais negligenciadas e ao mesmo tempo uma das mais promissoras do mundo dos negócios.

A logística é uma área com potencial para contribuir para o aumento de valor do ponto de vista da produtividade e do custo.

O CSCMP (Council of Supply Chain Management Professionals), define a logística como o processo de planear, implementar e controlar o fluxo e armazenamento, eficiente e eficazmente, de bens, serviços e da respetiva informação, desde a sua origem até ao seu consumo, com o objetivo de estar em conformidade com os requisitos do cliente. Esta definição inclui todos os movimentos de entrada e saída, internos e externos.

Numa empresa o fluxo de informação deve ser transversal a toda a organização, não se devendo apenas restringir ao acompanhamento do fluxo físico de materiais.

Citando Ronald H. Ballou [1] “A missão da logística é disponibilizar os bens ou serviços corretos no local correto, na altura certa e nas condições desejadas, com o maior contributo para a empresa”.

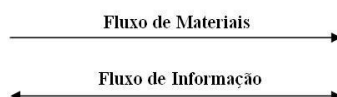


Figura 2.1: Fluxo Físico de Materiais e Informacional da Logística

### 2.1.1 Valor Acrescentado da Logística

A vantagem competitiva de uma organização criada pela cadeia de valor não deve ser vista com um todo, mas sim discriminada segundo as atividades que contribuem para essa vantagem [2].

Para uma organização ganhar essa vantagem deve promover o valor para os seus clientes, desempenhando estas atividades de forma mais eficaz que os seus concorrentes ou então possuir a capacidade de criar de forma excecional valor para os seus compradores.



Figura 2.2: Cadeia de Valor de Porter

Do ponto de vista da logística interna, O valor acrescentado é conseguido se for possível garantir que as matérias-primas ou componentes necessários são entregues nos pontos de produção onde são requeridos, atempadamente, nas quantidades necessárias e estipuladas, bem como nas condições desejadas [2].

A gestão da logística realiza-se recorrendo e tendo em consideração a uma decisão sobre três dimensões, promovendo raciocínios e decisões através do seu trade-off:

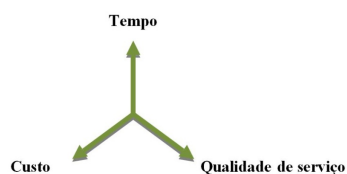


Figura 2.3: Dimensões da Logística

### 2.1.2 Funções da Logística

Dependendo de organização para organização, à logística compete, transversalmente, atuar sobre uma série de funções. Tipicamente estas funções poderão ser [3]:

- gestão de todo o tipo de stocks na organização;
- gestão da componente logística de atendimento a clientes (prazos de entrega,...);
- gestão de transportes;
- gestão física dos armazéns;
- receção e acompanhamento de encomendas;
- encomendas a fornecedores;
- planeamento agregado da produção juntamente com a Gestão da Produção;
- gestão de aprovisionamentos de matérias-primas e diferentes componentes;
- manutenção do sistema de informação de logística de suporte;
- gestão de inventários;
- embalagem.

### 2.1.3 Logística Interna

A logística interna é um conjunto de várias atividades associadas à receção, armazenagem e distribuição de materiais para os produtos, tais como todas as movimentações internas de materiais, controlo de stocks, transportes e devoluções para fornecedores [2].

## 2.2 Armazenamento

Os sistemas de armazenagem são vistos de forma tradicional como sistemas que devem ser capazes de providenciar os meios necessários para manter inventários de um determinado material ou produto nas quantidades que são requeridas, no ambiente mais apropriado e ao menor custo possível. Numa visão mais tradicional/clássica, os armazéns não acrescentam qualquer valor à cadeia de abastecimento [4].

Esta visão tem mudado e evoluído com o tempo, segundo Marvick & White (1998) os desenvolvimentos mais recentes nas cadeias de abastecimento tem levado a que o papel do armazém mude. Os mesmos autores, dizem que este não é mais visto como um ponto morto no processo mas sim como um ponto integrante da excelência total da cadeia de abastecimento.

Nos últimos anos e numa perspectiva cada vez mais integrada da cadeia de abastecimento, os armazéns (plataformas, entrepostos, centros de distribuição, centros de processamento, entre outros) têm vindo cada vez mais a desempenhar outros papéis, tais como: consolidação, transbordo, *cross-docking* (passagem de cais) e atividades de valor acrescentado (por exemplo preparação de encomendas) [4].

### 2.2.1 O Papel do Armazenamento nas Organizações

O armazém desempenha um papel chave na estratégia de organização logística de uma organização. Geralmente é neste ponto que uma organização pode iniciar o seu êxito ou começar a falhar o cumprimento com os seus clientes, sendo por isso um ponto crítico na sua estratégia.

É importante realçar que mesmo se apresentando como um ponto crítico dentro das organizações, os armazéns não geram valor para as mesmas. O valor acrescentado na maioria dos casos é mínimo. No entanto o processo de armazenagem pode ser responsável por grandes perdas de dinheiro e tempo.

Muitas organizações preocupam-se em criar sistemas sofisticados ao nível da produção, marketing e finanças, mas a verdade é que muitas vezes desprezam a importância do armazém na sua própria estratégia organizacional e competitiva. Para muitas organizações uma melhoria da logística ao nível da armazenagem dos seus produtos e matérias-primas pode ser a última oportunidade para uma melhoria significativa das suas organizações.

Se projetado de forma adequada, bem planeado e gerido, um armazém pode oferecer às organizações altos níveis de serviço e eficiência com um menor *stock* e custos mais baixos. Uma solução de armazenagem corretamente dimensionada consegue oferecer um ganho importante de tempo, espaço e de recursos humanos. Permitindo melhorar a rentabilidade do mesmo e aumentando a vantagem competitiva das organizações.

O objetivo final de um armazém é a minimização de custos operacionais para um dado requisito.

### 2.2.2 Armazéns

De um ponto de vista meramente administrativo, com visão financeira, o armazém é visto como um estorvo pelas organizações, que não acrescenta qualquer tipo de valor aos produtos e como tal deve ser reduzido ao mínimo, de modo a ser possível minimizar custos.

Mas é necessário ter atenção pois o armazém é uma parte integral de todos os sistemas logísticos e possui um papel fundamental para qualquer organização, sendo que o principal objetivo é manter um determinado *stock* de materiais ou produtos, por um determinado período de tempo, preferencialmente num ambiente apropriado e organizado, permitindo que o custo com o armazenamento seja o mais reduzido possível.

Um armazém bem estruturado, organizado e planeado é uma mais-valia para a produção, sendo que permite que a mesma nunca tenha problemas de fornecimento de materiais, evitando-se deste modo que esta pare por falta de fornecimento de materiais.

Se pensarmos num mundo ideal, os armazéns não seriam necessários. O planeamento seria pensado e planeado de modo a que os materiais chegassem na altura em que realmente são necessários para produzir, este é o princípio da filosofia *JIT* (Just-in-Time). Mas na realidade existem vários fatores que afetam esta filosofia, sendo por isso necessário às organizações garantir que as suas linhas de produção nunca param por falta de fornecimento de materiais.

### 2.2.3 Princípios e Funções dos Sistemas de Armazenamento

Os sistemas de armazenagem de materiais devem ser capazes de providenciar todos os meios necessários para manter um determinado material/produto nas quantidades que são requeridas, no ambiente mais apropriado e ao menor custo possível. Este é o princípio da armazenagem de materiais.

A função principal de um sistema de armazenagem é manter produtos em stock. As razões para se manter stock são várias, incluindo as seguintes [5]:

- servir de buffer entre a procura e o fornecimento;
- situações de flutuação sazonal;
- stock de produtos em processo de fabrico (WIP);
- capacidade de responder a situações de falha no fornecimento/produção;
- como reserva estratégica;
- permitir serviço a clientes;
- reduzir custos de transporte, produção e de compra.

Um armazém como ponto essencial na estratégia de uma organização deve ser operado de forma cuidada de modo a ser possível atingir os objetivos do seu propósito. Esses objetivos podem ser vários desde proporcionar um determinado nível aos clientes, a atingir um nível de rendimento definido, custo operacional mínimo ou armazenar um determinado nível de stock definido.

Para que seja possível alcançar estes objetivos é necessário que o armazém seja operado de forma correta e eficiente, com os equipamentos mais apropriados num ambiente planeado e controlado, adequado e seguro.

### 2.2.4 Funções e Operações dos Sistemas de Armazenagem

As funções e operações que podem ser executadas nos armazéns são várias e podem ser de receção, armazenamento, seleção e separação de pedidos (*order picking*), e expedição. À receção estão associadas funções como controlo das quantidades e da qualidade. O armazenamento é realizado transportando os materiais recebidos para a zona de armazenamento correta e previamente definida sendo arrumados no local correto. *Order picking* é a seleção e separação dos materiais necessários que se encontram armazenados para os pedidos existentes sendo expedidos para o próximo posto.

### 2.2.5 Sistemas e Equipamentos de Armazenamento

Os sistemas e equipamentos de armazenamento de materiais são um ponto importante dos sistemas de armazenagem, estes devem ser escolhidos com cuidado para ser possível tomar decisões acertadas. Os meios de armazenagem dependem [5]:

- das características físicas dos produtos;
- da unidade de carga utilizada;

- dos fatores de deterioração;
- dos riscos de contaminação;
- do número de artigos/linhas de produção;
- os níveis de stock;
- dos níveis de atividade.

Os meios de armazenagem vão desde paletes, a sistemas de *drive in/ drive through*, estantes ajustáveis para paletes, sistemas *push-back*, prateleiras, armários de parede, armários de gavetas, caixas de plástico, entre outros. Existem também vários tipos de sistemas automáticos.

## 2.2.6 Sistemas e Equipamentos de Movimentação de Materiais

Os sistemas e equipamentos que permitem movimentar materiais dentro de uma organização são vários sendo alguns mais tradicionais e outros com um maior nível tecnológico e de inovação. Sistemas como o carrinho de mão e porta paletes são sistemas mais tradicionais e que não possuem qualquer tipo de capacidade de elevação dos produtos que transportam. Por outro lado existem equipamentos como as empilhadoras, transportadores (*conveyors*) e *AGV's* que são cada vez mais utilizados devido a sua maior capacidade de transporte. Em alguns casos estes equipamentos já têm capacidade de ser autónomos.

## 2.2.7 Tipos de Armazéns

Existem diferentes tipos de armazéns, que dependem do negócio da organização em causa e conseqüentemente do tipo de produto que se pretende armazenar. Uma distinção simples é diferenciar o conceito de armazém em três modelos/categorias [5]:

- armazém de Transferência;
- armazém de Distribuição;
- armazém de Abastecimento;

O armazém de transferência é normalmente utilizado por operadores logísticos que mantêm os seus produtos por breves períodos de tempo para transferência de um meio de transporte para outro. Normalmente também se efetuam ações de consolidação, onde o operador logístico recebe produtos de diferentes fornecedores e aglomera tudo num só carregamento aquando da fase de distribuição [5].

O armazém de distribuição pode ser subdividido em armazéns locais, regionais ou de distribuição, dependendo da área que servem. Estes recebem produtos de diversos fornecedores e distribuem-nos por vários clientes, em operações de retalho [5].

O armazém de abastecimento tem como objetivo e função armazenar materiais ou produtos semiacabados que são destinados à produção. Enquanto os materiais não são necessários ao processo produtivo ficam armazenados nestes locais.

No âmbito desta dissertação o caso a estudar será o armazém de abastecimento.

### 2.2.8 Armazéns Automáticos e Armazéns Manuais

Os armazéns podem ser manuais, semiautomáticos ou automáticos, cada um destes tipos de armazém tem as suas vantagens e inconvenientes sendo que é necessário estudar o funcionamento de uma organização para melhor decidir qual a solução mais adequada.

Na tabela seguinte é realizado um pequeno resumo das vantagens e desvantagens de um sistema de armazenagem automática [5].

Tabela 2.1: Vantagens e Desvantagens de Sistemas de Armazenagem Automática

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução de custos com mão-de-obra;</li> <li>- Capacidade de aumentar a taxa de saída;</li> <li>- Redução da manipulação de materiais;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior nível de precisão;</li> </ul> </li> <li>- Aumento da velocidade do serviço.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo do capital inicial;</li> <li>- Problemas relativos a software (incompatibilidades, falhas, ...);               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos de manutenção;</li> </ul> </li> <li>- Pouca flexibilidade para responder a ambientes em mudança.</li> </ul>

Em organizações onde a quantidade e diversidade de materiais seja grande pode ser útil a utilização de armazéns automáticos ou semiautomáticos. Sendo um dos pontos a ser estudado ao longo desta dissertação.

## 2.3 Stocks

O termo *stocks* é um termo proveniente de origem anglo-saxónica e é utilizado para designar de um modo geral a existência de produtos acabados ou matérias-primas.

Os *stocks* apesar de serem vistos pelas organizações como algo que não cria valor, podem representar uma vantagem na regulação do processo de produção. Os *stocks* permitem dessincronizar a procura de um produto da sua produção. Por outro lado, a existência de *stocks* representa várias desvantagens para as organizações, como por exemplo a ocupação de espaço e a imobilização de meios financeiros.

Nas organizações podem existir três tipos diferentes de *stock* [5]:

- *stocks* de matérias-primas e componentes, ou seja, material que se encontra em espera até ser necessário nas linhas de produção;
- *stocks* de produto em curso, ou seja, produto incompleto, que ainda se encontra em fase de produção;
- *stocks* de produto acabado, ou seja, produto que já se encontra finalizado à espera de ser expedido para o cliente.

Existe nas organizações uma tendência generalizada de reduzir os *stocks* ao máximo, no entanto, por diversos fatores é necessário mantê-los com determinadas quantidades de modo a ser possível cumprir o plano delineado pelas organizações, e de modo a ser possível prevenir imprevistos.

Alguns dos motivos para manter *stocks* prendem-se com [5]:



- reduzir custos de transporte;
- reduzir custos de produção;
- obtenção de descontos sobre determinadas quantidades compradas;
- garantir a continuidade de um fornecedor;
- assegurar políticas de serviço a clientes;
- responder a mudanças do mercado (sazonalidade e flutuações da procura);
- servir de amortecimento entre a procura e o fornecimento;
- reserva estratégica.

Realizar uma gestão eficiente dos stocks tem como objetivo permitir manter um nível de serviço aceitável para o qual o stock existe. Este tipo de gestão implica diferentes tipos de operações [5]:

- armazenagem de artigos e respetivas movimentações;
- realização de inventários cuidados;
- existência de um sistema que permita a gestão de stocks;
- imputação contabilística de entradas/saídas;
- classificação dos stocks em várias categorias.

Os stocks normalmente representam um investimento significativo nos sistemas logísticos. Os custos associados podem dividir-se em três componentes distintas: custos de aprovisionamentos, custos associados à existência de stock e custos associados à rotura de stocks.

Implementando um sistema de controlo de stocks eficiente vai permitir um maior controlo do inventário e melhorar o serviço prestado.

### **2.3.1 Análise ABC e Gestão de Stocks**

Controlar o inventário recorrendo a contagem, colocando ordens, recebendo stock e outras tarefas relacionadas custa tempo e dinheiro às organizações. Estes recursos são limitados em qualquer organização, e como tal é necessário aproveitá-los da melhor maneira para gerir o inventário, sendo para tal necessário focar/distinguir os artigos mais importantes do inventário.

No século XIX, Vilfredo Pareto, estudou a distribuição de riqueza em Milão, tendo concluído que 20% das pessoas controlavam 80% da riqueza existente. Considerando esta lógica de um grupo pequeno ter maior importância e da importância de muitos terem pouca importância foi ampliado para incluir muitas situações, e é designado de princípio de Pareto. Isto é verdade no dia-a-dia, e é certamente verdadeiro em sistemas de inventário.

Um sistema de inventário deve ser capaz de especificar quando uma ordem deve ser processada e quantas unidades por encomenda de um determinado produto. A maioria das situações de controlo de stock envolve um número elevado de produtos, não sendo prático modelar de forma individual cada produto.

De modo a tentar resolver este problema, a lógica ABC divide os artigos em três classes, A, B e C.

Os artigos de classe A, são artigos de maior importância de valor ou quantidade. Os artigos de classe B, são artigos de importância, quantidade ou valor intermédio. Os artigos de classe C, são artigos de menor importância, valor ou quantidade.

Estes parâmetros não representam uma regra matemática fixa, pois variam de organização para organização.

O interesse da análise de Pareto para a cadeia logística consiste no facto de esta permitir diferenciar os artigos, classificando-os consoante certos critérios de valor ou quantidade.

A classificação ABC divide os artigos em três grupos de valor, que podem ser definidos:

- os artigos de classe A, 20% dos artigos representam 80% dos artigos de maior valor;
- os artigos de classe B, 30% dos artigos representam 15% dos artigos de um certo valor;
- os artigos de classe C, 50% dos artigos representam 5% dos artigos de um certo valor.

O objetivo de classificar cada grupo de artigos é estabelecer o grau de controlo de cada item, permitindo separar os artigos muito importantes, dos de menor importância.

## 2.4 Simulação

### 2.4.1 Introdução à Simulação

O número de definições que é possível de encontrar na literatura para descrever simulação é muito elevado, sendo que por esse motivo foram selecionadas apenas aquelas que foram consideradas mais relevantes. As definições serão apresentadas de seguida, e são importantes para sintetizar as principais ideias do que realmente é a simulação.

Simulação refere-se a uma vasta coleção de métodos e aplicação que copiam o comportamento de sistemas reais [6]. É considerada uma técnica de Investigação Operacional e ferramenta utilizada para projetos e operação de sistemas complexos. A simulação pode ser considerada como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real, com a realização de experiências com esse modelo com o intuito de conhecer melhor o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias alternativas e operações [7].

Simulação não é mais do que a imitação do comportamento, ao longo do tempo, de uma operação ou de um sistema do mundo real: Consiste em construir uma história artificial do sistema, bem como a observação do modo como essa história decorre, em consonância com as características de operações do sistema representado [8].

A construção de modelos de simulação pode ser vista como uma metodologia experimental e com a aplicabilidade que procura descrever o comportamento de um sistema, assim como prever o seu comportamento futuro [9].

O estudo do comportamento de um sistema, é entendido como a coleção de entidades (por exemplo pessoas e máquinas), que agem e interagem para a concretização de um determinado objetivo lógico, existindo diversos modelos. Os modelos mais importantes encontram-se na figura seguinte.

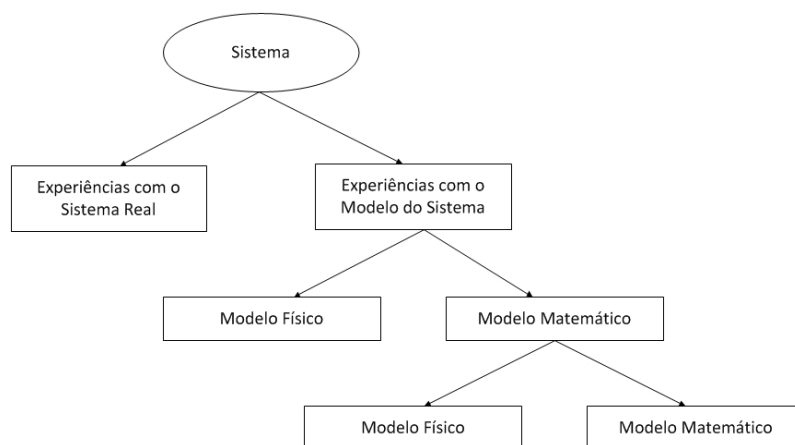


Figura 2.4: Modelos usados no Estudo de Sistemas [10]

É possível verificar, que em geral, a definição de simulação está intrinsecamente ligada aos conceitos de sistema e modelo. Foi possível encontrar bastante documentação relativamente a estes.

Sistema pode ser entendido como um conjunto de entidades que interagem tendo em vista a concretização de um determinado fim. Estas entidades podem ser pessoas, matérias-primas, objetos, entre outros [6].

Sistema é todo e qualquer objeto relativamente ao qual se deseja realizar um determinado estudo, enquanto um modelo é uma representação do sistema sobre o qual se irá realizar o estudo [11]. Pode dizer-se que se trata de uma aproximação do mundo real, onde o analista prescinde de alguns detalhes no desenvolvimento do sistema, de forma a simplificar o seu estudo. Em muitas situações o modelo apenas precisa de replicar o comportamento entre Entradas e Saídas. A qualidade do modelo deve ser avaliada pela maneira como as suas saídas confirmam as observações na realidade ou sistema real [12].

O que é um bom modelo? Um bom modelo é um compromisso equilibrado entre realismo e simplicidade. Este conceito é referido como abstração: o modelo será uma abstração ou aproximação do sistema real [13].

## 2.4.2 Conceitos de Simulação

Para ser possível compreender melhor o trabalho desenvolvido é necessário ter a noção de alguns conceitos que são importantes, e que se encontram inerentes a estudos envolvendo tecnologias de simulação. Estes conceitos são muitas vezes desprezados levando a uma incorreta interpretação dos sistemas e modelos de simulação.

### 2.4.2.1 Tipos de Modelos

Os modelos de simulação podem ser classificados como Estáticos versus Dinâmicos, Contínuos versus Discretos ou Determinístico versus Estocástico. Estes modelos têm características

bastante diferentes, que serão apresentadas de seguida com uma breve descrição.

**Estáticos versus Dinâmicos:** Nos modelos estáticos o tempo não é um fator relevante, como o próprio nome indica o tempo é estático, ou seja, as mudanças de estado não envolvem o tempo uma vez que se trata de uma representação do sistema num momento particular. Por seu lado, nos modelos dinâmicos o tempo influencia o comportamento do sistema: um modelo dinâmico de simulação representa um sistema que evolui com o passar do tempo, durante um determinado período de tempo a ser estudado [14] [6].

**Contínuos versus Discretos:** Nos modelos contínuos, as variáveis dependentes variam ao longo do tempo simulado, ou seja, o estado do sistema pode mudar continuamente; como exemplo, pode citar-se o nível de um reservatório de água no qual entra e sai incessantemente. Por seu lado, nos modelos discretos as alterações ocorrem em momentos separados no tempo, ou seja, as variáveis dependentes variam em espaços temporais específicos do tempo de simulação. Podem existir modelos híbridos, onde temos ambos os casos ao mesmo tempo [14].

**Determinístico versus Estocástico:** Nos modelos determinísticos, os valores dos parâmetros de entrada não são aleatórios, mas sim constantes. Por seu lado, nos modelos de simulação estocásticos, os valores de funcionamento do sistema são puramente aleatórios. Sempre que num modelo se entra em conta com os valores de flutuação de certas variáveis, o processo deixa de ser determinístico. Os modelos determinísticos são menos exigentes em termos computacionais que os estocásticos [14] [6].

Um modelo pode ter entradas determinísticas, quer aleatórias, nos seus diferentes componentes, visando, deste modo, criar com a veracidade possível um sistema real [6].

#### **2.4.2.2 Abordagens de simulação**

Na modelação de sistemas discretos, os simuladores podem ter três classificações, orientados ao processo, à atividade e ao evento. Existe ainda a abordagem das três fases que foi introduzida por Tocher na década de 60, e que será falada mais a frente no documento.

A abordagem das três fases, introduzida por Tocher na década de 60, pretende combinar a simplicidade da abordagem orientada às atividades com a eficiência da abordagem por eventos [11]. O nome desta abordagem deve-se ao algoritmo usado na sua implementação:

- Fase A - Incrementa o relógio de simulação para o tempo associada ao próximo evento;
- Fase B - Executa todas as atividades do tipo 'B' (ou não condicionadas) cuja hora de ocorrência coincida com a hora atual de simulação. Estas são atividades cujo instante de ocorrência pode ser pré-determinado;
- Fase C - Executa as atividades do tipo 'C' (ou condicionadas) e que satisfaçam as suas condições. Os instantes de ocorrência destas atividades não podem ser pré-determinados pois dependem de condições associadas à execução de outras atividades.

É possível encontrar com maior detalhe a descrição das três fases em cima referidas, sendo que foi apenas realizada uma breve descrição e adaptação do livro de Brito e Teixeira, "Simulação por Computador Fundamentos e Implementação de Código em C e C++, 2001" [11].

Um simulador diz-se orientado às atividades (*activity approach*) quando nele estão especificadas, com o máximo pormenor, a sequência de ações a realizar em cada uma dessas atividades. O funcionamento do sistema é visto como um encadeamento de atividades realizadas pelas diversas entidades. Todas as atividades são analisadas em todos os incrementos da simulação, mesmo que não sejam executadas nesse intervalo de espaço temporal.

Na simulação orientada ao processo (*process approach*), a dinâmica do sistema é representada através da descrição do fluxo das suas entidades. É realizada a descrição do seu percurso desde a sua entrada no sistema até à sua saída do mesmo. A cada um destes percursos dá-se o nome de processo [11].

Numa simulação orientada a eventos (*event approach*), a dinâmica do sistema é representada segundo um encadeamento de eventos, e a atenção centra-se nos instantes de simulação onde ocorrem transições de estado previstas no sistema [11]. Sempre que ocorre um evento, são assim estudados os conjuntos de ações associadas a esse evento, e verifica-se as ações que são executadas sempre que esse evento surge na simulação. Cada rotina de evento é executada de forma completamente independente das outras, o que permite saber o estado de qualquer entidade do sistema em qualquer instante de tempo.

O ARENA, ferramenta de simulação, utiliza a técnica do próximo evento, para representar os estados do sistema, ao longo do período durante o qual ocorre a simulação [6].

### 2.4.2.3 Terminologia Comum

Quando se fala de simulação discreta é inevitável não associar esta a determinados termos, que se encontram inevitavelmente associados a este tipo de simulação. De seguida serão apresentados alguns termos que serão utilizados ao longo deste projeto.

- *Entidades:*

Entidades são objetos dinâmicos de simulação, isto é, elementos que movem, mudam de estado, afetam e são afetados por outras entidades e pelo estado do sistema, influenciando o seu desempenho e resultado [6] [11]. Elas podem ser individualmente identificadas e processadas. Sem entidades nada ocorreria na simulação, pois estas é que permitem que o sistema opere. Cada entidade tem um ciclo de vida onde estados ativos e passivos se alternam. Consoante a sua permanência no sistema, as entidades podem ser classificadas como permanentes, se permanecerem sempre dentro do sistema, ou temporárias se o abandonarem ao fim de um determinado período de tempo de simulação. As entidades são caracterizadas pelos seus atributos [6] [11].

- *Atributos:*

Atributos são características associadas a entidades que individualizam as mesmas. Um atributo é uma característica comum a todas as entidades, cujo valor específico pode ou não diferir de entidade para entidade [15].

- *Recursos:*

As entidades de um sistema, normalmente, competem entre si para reservar um recurso. Um recurso pode ser descrito como um elemento do sistema que fornece um ou vários serviços. Uma entidade apodera-se de um recurso, quando este lhe é necessário mas só se este se encontrar disponível, libertando-o quando não necessitar mais dele [1][12]. Um recurso pode ter a capacidade de servir uma ou mais entidades ao mesmo tempo, e por seu lado uma entidade pode necessitar de múltiplos recursos simultaneamente. Um recurso pode ter vários estados, com por exemplo, ocupado, bloqueado, escondido ou disponível [6] [8].

- *Eventos:*

Os eventos ou acontecimento, são uma ocorrência instantânea, isto é, de duração nula mas que produz uma mudança no estado do sistema. O sistema mantém o seu estado até a ocorrência do próximo evento. Representa uma transição no sistema, que pode alterar atributos e variáveis, e não uma ação do mesmo [15].

- *Atividades:*

Uma atividade é uma operação ou conjunto de operações (procedimentos) que alteram o estado de uma ou mais entidades. As entidades realizam atividades que fazem o sistema evoluir através dos seus vários estados [6] [11].

Os acontecimentos e/ou atividades são os elementos fundamentais para a modelação dos aspetos dinâmicos de um sistema que permitem representar a sua evolução ao longo do tempo [16].

- *Filas:*

As filas são locais de espera no fluxo do modelo onde as entidades ficam retidas. Estas filas estão associadas a lógicas ou regras que gerem acessos ou saídas de entidades em processos ou sistemas [6]. Por exemplo, a fila pode estar ordenada segundo a disciplina FIFO ou LIFO.

- *Sistema e Modelo:*

Um sistema pode ser genericamente entendido e descrito como um conjunto de entidades que interagem tendo em vista a concretização de determinado(s) fim (fins) [16]. Na prática, todavia, esta definição de sistema tende a ser, genericamente, mais flexível. Com efeito, a exata descrição de um sistema depende, normalmente, dos objetivos a alcançar com o estudo de simulação [17].

Um sistema é todo e qualquer objeto relativamente ao qual se deseja realizar um determinado estudo, enquanto um seu modelo é uma qualquer representação desse objeto sobre a qual, se irá, efetivamente, realizar tal estudo [11].

Um modelo não é mais que uma aproximação do mundo real, sendo um dado adquirido que o projetista ou analista prescindira de alguns detalhes no seu desenvolvimento [8].

Um aspeto importante que é necessário ter em atenção está relacionado com o nível dos

detalhes a omitir, sendo que é necessário ter o cuidado ao dispensar os detalhes, de modo a dispensar apenas aqueles cuja omissão não prejudique os resultados e o sucesso do estudo da simulação.

- *Estado do Sistema:*

O estado é como fotografia do sistema, num dado instante de tempo. É definido em função do estado das entidades que o constituem e dos valores dos atributos das mesmas [6].

- *Relógio de Simulação:*

O relógio de simulação é um elemento que contém o valor atual do tempo de simulação. Na linguagem de simulação ARENA, o tempo pode não fluir continuamente, podendo o tempo saltar de evento para evento. Assim, nesta forma de representar a dinâmica do sistema, torna-se irrelevante conhecer o seu estado para além dos instantes em que ocorrem eventos [6] [11].

### 2.4.3 Simulação

Realizar um estudo com simulação é um processo e exercício exigente em termos de tempo e recursos, desde a construção dos modelos até à análise dos resultados obtidos. É importante antes de mais compreender e entender, ter uma noção, das vantagens e desvantagens associadas a este tipo de estudos, assim como noções de como desenvolver e implementar um projeto deste tipo e estar atento às típicas causas de insucesso dos mesmos. Antes de mais é importante perceber que as vantagens da simulação são muitas, mas também existem desvantagens, sendo algumas muito problemáticas.

#### 2.4.3.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Algumas das vantagens da simulação encontram-se descritas de seguida, sendo que as frases que se seguem permitem compreender melhor as suas vantagens:

- testar novas configurações do processo produtivo sem compromisso nos recursos, evitando custos e evitando o risco financeiro e físico de alterar os sistemas [8];
- explorar novas políticas de escalonamento dos recursos, procedimentos operativos, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, sem interromper o funcionamento do sistema [9];
- permitir identificar os pontos de estrangulamento da linha de produção testar diversas opções, com o intuito de conseguir otimizar o seu funcionamento, identificando as causas dos atrasos no fluxo de materiais, de informação e de outros processos [8] [9];
- permitir conhecer melhor o sistema e identificar quais as variáveis que realmente influenciam o seu desempenho, servindo de suporte para uma melhor compreensão da realidade para explicar e descrever ou para apoio a decisão [10] [14];
- permitir à gestão analisar a disponibilidade de todos os recursos e a sua alocação;
- estudar um sistema com largo horizonte temporal [8];

- simular vários cenários que podem ser testados e comparados rapidamente, ou seja, a replicação precisa de experiências, podendo-se assim testar alternativas diferentes do sistema [6];
- especificar requisitos para um sistema [6];
- separar parâmetros controláveis de não controláveis e estudar o seu impacto no sistema [6];
- resolver e testar (formalmente) problemas normalmente resolvidos através de regras intuitivas;
- um sistema pode ser tão complexo que a sua formulação em termos de simples equações matemáticas seja impossível. Por exemplo, é muitas vezes, virtualmente impossível descrever o comportamento global de um sistema industrial, económico ou financeiro. A simulação tem sido uma ferramenta de apoio à decisão extremamente eficaz na solução de situações e problemas deste teor. Mesmo que um modelo matemático possa ser formulado, reproduzindo o comportamento do sistema em estudo, pode não ser possível obter uma solução para o modelo utilizando diretamente técnicas analíticas [14];
- o exercício formal da produção, em computador, de um modelo de simulação, pode ter mais valor que a simulação em si mesma – a realização desse exercício permite sedimentar os conhecimentos por parte do analista de simulação, proporcionando mesmo, sugestões de alterações a introduzir no sistema que está sendo alvo de um processo de simulação para otimizar o seu desempenho. Os efeitos dessas alterações podem, então, ser testados através de simulações antes de serem implementados no sistema em estudo [14].

Analisando as frases compiladas em cima, é possível perceber que diversos autores, da especialidade, concordam que a simulação foi capaz de trazer uma importante melhoria na tomada de decisões, permitindo consequentemente aumentos ao nível da eficácia e reduções de custos dos sistemas.

Apesar de todas estas vantagens, a simulação apresenta alguns inconvenientes relevantes, de entre os quais se destacam:

- No arranque do desenvolvimento da simulação não ter os objetivos bem definidos [18];
- A simulação não gera resultados fiáveis se as entradas não estiverem adequadamente simuladas [18];
- O desenvolvimento de modelos de simulação exige um nível elevado de conhecimentos, ao nível da linguagem de simulação que está a ser utilizada [9];
- A simulação não fornece soluções ótimas para os problemas em estudo – permite, todavia, avaliar o comportamento do sistema mediante determinados cenários, para esse efeito criados pelo analista [7] [9];
- Exige um conhecimento profundo do sistema a modelar [9];
- Se o modelo não for uma representação válida do sistema, pouca informação útil se pode retirar do resultado [18].



As desvantagens ou limitações, apresentadas chama a atenção para a necessidade de realizar um trabalho prévio antes de se iniciar um trabalho de simulação. Uma construção prévia e cuidada do sistema deve ser realizada em primeiro lugar, para não invalidar resultados que se venham a obter.

#### 2.4.3.2 Fases de um Projeto de Simulação

Para o desenvolvimento de um modelo de simulação existem várias fases todas elas relacionadas entre si, cada uma com as suas características e problemas, que devem ser consideradas no desenvolvimento de um projeto de simulação. Para Averill M. Law os passos que devem ser seguidos pelos criadores de modelos encontram-se representados na figura 2.5 [19].

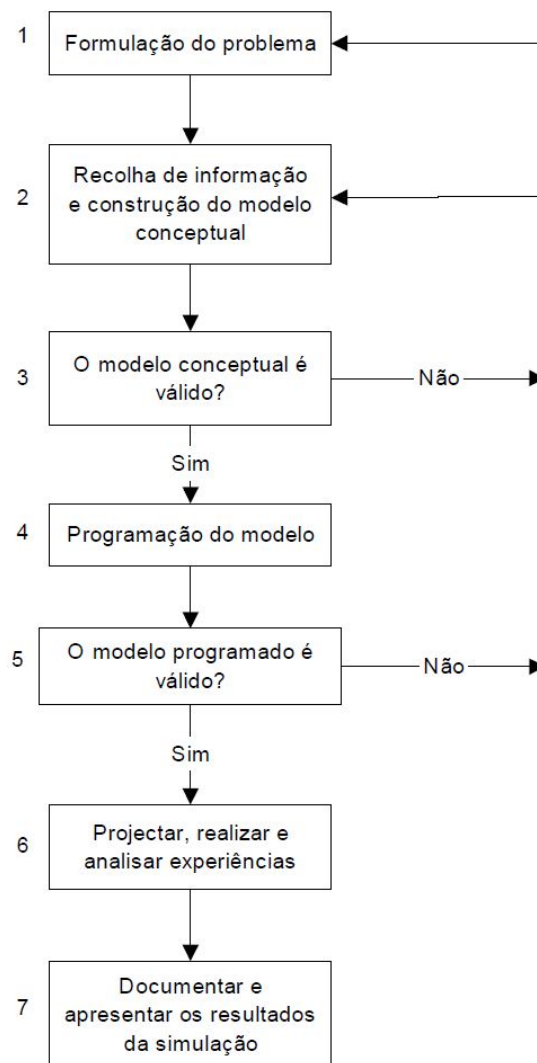


Figura 2.5: Os sete passos de abordagem a um problema de simulação [19]

Os passos mencionados na figura 2.5 devem ser seguidos de modo a ser possível obter um resultado de simulação que seja válido. A descrição que o autor realiza dos passos anteriores encontra-se de seguida [19], sendo utilizado também como referência [20].

- **Formulação do problema:** Todo o trabalho de simulação começa com a definição dos objetivos: Porque é que estamos a estudar este sistema, a que questões pretendemos responder? Este passo é extremamente importante e o criador dos modelos de simulação deve ter o cuidado de se assegurar que o problema está devidamente compreendido. Soluções apropriadas para problemas mal formulados terão pouco significado porque não respondem às reais necessidades do utilizador.

Sendo assim, algumas das perguntas a efetuar antes de começar um problema de simulação serão:

- o que deve conter o modelo de simulação?
  - qual o tempo e recursos disponíveis para o estudo?
  - qual o nível de detalhe necessário?
  - existem restrições físicas, tecnológicas ou legais na operação do sistema?
  - essas restrições podem ser alteradas?
  - os procedimentos do sistema estão bem definidos?
  - como são tomadas as decisões?
  - existem dados disponíveis?
  - qual o tipo de animação necessário?
  - quem vai verificar e validar o modelo, e como o fará?
  - quais as saídas necessárias?
  - quão geral ou específico deve ser o modelo?
  - quem vai fazer a análise de resultados?
  - que critérios vão ser utilizados na análise?
  - quantos e quais os cenários que devem ser considerados?
- **Recolha de dados e informação e construção de um documento conceptual:** Nesta fase o criador do modelo deve-se preocupar em recolher informação acerca dos sistemas e dos seus processos operativos, assim como os dados necessários, para poder simular corretamente todos os parâmetros do modelo. Deve depois elaborar um documento conceptual onde descreve aquilo que vai assumir na criação de um modelo e informações relativas aos dados recolhidos.
- **Validar o documento conceptual:** O documento realizado no passo dois, deve ser validado por todos os intervenientes do projeto de simulação, incluindo gestores e futuros utilizadores da ferramenta. Caso seja detetado algum erro ou incoerência o documento tem de ser corrigido antes de passar ao passo seguinte.

- Programar o modelo: Com base na informação do documento realizado nos passos anteriores, é necessário desenvolver o programa, através da ferramenta ou linguagem de programação que foi escolhida para o desenvolvimento do modelo e verificação do mesmo. Como verificação entenda-se o processo de análise que permite confirmar se o modelo desenvolvido está de acordo com os parâmetros inicialmente estabelecidos.
- Validação do modelo programado: Caso exista um sistema real, os resultados da simulação devem ser comparados com dados de saída do sistema existente. Caso não exista um sistema real, os dados devem ser analisados e ponderados, para ver se são consistentes com o que era esperado do sistema. Este é o processo que pode assegurar que o modelo é uma representação correta da realidade.
- Planeamento, realização e análise de experiências: Para cada experiência devem ser definidos vários parâmetros importantes, como quantas vezes deve o modelo ser corrido, qual o seu 'aquecimento' e quanto tempo deve ser simulado. Devem ser analisados os resultados e verificar se mais experiências devem ser realizadas.
- Documentação e apresentação de resultados: Devem ser documentados todos os modelos conceptuais, assim como as descrições do programa desenvolvido e os resultados do estudo efetuado. A apresentação deve incluir uma animação do modelo e a discussão dos procedimentos de construção e validação, de maneira a promover a compreensão e a credibilidade dos modelos criados.

Analisando todas as etapas anteriores, dir-se-á que uma das mais importantes e relevantes no desenvolvimento de um projeto de simulação é a etapa da formulação, que consiste na definição do problema e dos objetivos a atingir.

#### **2.4.3.3 Causas de Insucesso de Projetos de Simulação**

Quando se inicia o desenvolvimento de um projeto de simulação é necessário ter atenção a alguns aspetos que podem levar ao insucesso da mesma. No sentido de estarmos alerta e despretos para a possibilidade de ocorrer algum tipo de dificuldade ou insucesso, são apresentadas de seguida algumas causas, as mais comuns, que podem levar a esse insucesso no desenvolvimento de um projeto de simulação. Estas causas foram abordadas por grandes autores, que se encontram referidas em [17] e [21]:

- falha na definição de objetivos claros no início do estudo ou desenvolvimento da simulação;
- nível de detalhe muitas vezes não apropriado para o que se pretende, quer seja de mais ou de menos;
- falta de comunicação entre os responsáveis pela construção do modelo e os responsáveis do sistema simulado durante o desenvolvimento da simulação, o que pode levar a deficiente compreensão dos objetivos;

- interpretações erradas por parte das pessoas que desenvolvem o modelo do sistema a simular;
- falha na compreensão dos resultados da simulação por parte dos responsáveis;
- escolha do software ou linguagem inapropriados, demasiada complexidade ou documentação inadequada;
- utilização de animações inadequadas, incorretas ou pouco precisas;
- modelos inválidos;
- maus geradores de números aleatórios e distribuições probabilísticas incorretas;
- tempo de simulação inadequado;
- uso de indicadores chave de performance ou medidas de desempenho inadequados;
- executar a simulação apenas uma vez e considerar resultados como válidos e corretos.

#### 2.4.4 Ferramentas de Simulação

Recorrendo à simulação, significa recorrer a um software para obter suporte na construção dos modelos de simulação. Escolher a ferramenta de simulação mais adequada para resolver um determinado problema pode não ser uma tarefa fácil. A escolha de uma ferramenta inapropriada pode comprometer todo e qualquer projeto de simulação.

Como é de esperar existem várias ferramentas de simulação disponíveis, sendo que classicamente se distingue entre linguagens de programação, linguagens de simulação e simuladores. Ultimamente os fornecedores de linguagens de programação e simulação têm vindo a implementar nas suas soluções capacidades semelhantes às dos simuladores e vice-versa, tornando muito mais difícil a categorização das ferramentas.

As linguagens genéricas de programação podem oferecer grande flexibilidade, devido a grande quantidade de recursos que oferecem. Sendo que possuem a desvantagem de exigir que o utilizador possua conhecimentos de programação e simulação. Entre as linguagens de programação que se podem apelidar de genéricas encontram-se o FORTRAN, PASCAL, C, C++ e Java.

As linguagens de simulação por seu lado são desenhadas especificamente para a modelação de sistemas e possuem uma interface entre o programador e a linguagem de simulação. Estas linguagens trazem uma maior facilidade na elaboração do programa do modelo conceptual do sistema. Algumas das ferramentas que utilizam este tipo de linguagem são [11]:

- GPSS (General Purpose Simulation System): ferramenta desenvolvida por Geoffrey Gordon na década de 60, utilizando uma abordagem por processos para a construção do modelo de simulação;
- ECSL (The Extended Control and Simulation Language): é uma linguagem que utiliza a abordagem por atividades para a construção do modelo de simulação;
- DYNAMO: desenvolvida pelo M.I.T Computation Center para a simulação de modelos matemáticos;
- MODSIM II: desenvolvida pela CACI Products Company, é uma linguagem orientada ao objeto;

- SIMAN (SIMulations ANalysis language): introduzida em 1982, foi desenvolvida por C. Dennis Pedgen, professor na Pennsylvania State University;
- Simple++: é uma linguagem de simulação orientada ao objeto; permite projetar, simular e visualizar sistemas de produção, isto é, faculta a criação de modelos e respetiva simulação, para diferentes níveis de hierárquicos existentes num ambiente fabril. É um produto da empresa AESOP Corporation.
- ARENA: é uma linguagem de simulação orientado ao objeto, desenvolvida tomando por base a linguagem de programação SIMAN, desenvolvido pela Rockwell Software;

Nas linguagens de simulação há algumas características que são desejáveis que estas ferramentas possuam:

- flexibilidade de modelação;
- facilidade para o desenvolvimento e rastreabilidade do modelo;
- execução rápida do modelo;
- disponibilidade em várias plataformas;
- capacidade de animação;
- capacidades estatísticas;
- relatórios de resultados.

Considerando ainda esta classe de ferramentas de simulação, é possível ainda mencionar os geradores de código automático de simulação. É um software onde o utilizador apenas introduz dados através de um conjunto de perguntas efetuadas pela ferramenta. Exemplos deste tipo de ferramenta são: CAPS (Computer Aided Programming System), DRAFT, TESS (The Extended Simulation Support System) e HOCUS (Handor Computer Universal Simulator). O estudo sobre estas ferramentas não foi muito elaborado por não ser uma possibilidade a sua utilização nesta dissertação.

Os simuladores são ferramentas de simulação para abordar e desenvolver aplicações particulares, sendo que podem ser identificados dois tipos de simuladores: genéricos e os específicos. A figura 2.6 permite perceber melhor as diferenças entre várias ferramentas de simulação por computador.

Como é possível observar a utilização de linguagens de programação permite uma maior flexibilidade, pelo facto de as limitações que são colocadas ao programador serem mínimas. No entanto exigem conhecimentos profundos de programação, mais tempo e esforço.

Por seu lado as linguagens de programação tem as suas características próprias, permitindo uma maior facilidade de utilização, facilitando o trabalho a quem esta a programar.

Como é de esperar a utilização de simuladores é bastante mais simples, devido às suas interfaces (apesar de nem sempre as interfaces serem amigas do utilizador), oferecem a possibilidade de descrever o modelo e controlar a simulação, visualizar dados e estatísticas mais facilmente e capacidade de criar animações de forma simples. Estas ferramentas apesar de simples e normalmente intuitivas, requerem alguma formação relativamente ao seu manuseamento. A grande

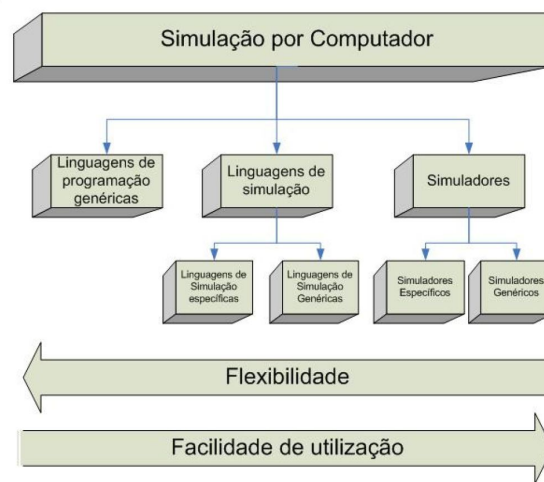


Figura 2.6: Simulação por Computador, Flexibilidade vs Facilidade de utilização [21]

desvantagem das ferramentas de simulação é sua pouca flexibilidade, relacionado às linguagens de programação que utilizam para executar a simulação.

Geralmente, quanto mais fáceis de utilizar são as ferramentas de simulação, mais limitam a criatividade [22].

Para o trabalho desenvolvido nesta dissertação foi adotada a ferramenta Arena, produto da rockwell Software, por ser utilizada no INESC Porto e por ser claro que a ferramenta tinha as funcionalidades necessárias.



## Capítulo 3

# Metodologia Adotada

Neste capítulo será abordada uma metodologia que permita o desenvolvimento e desenho, projeto e conceção de uma solução de armazenamento. Consiste inicialmente em perceber quais são os dados necessários conhecer, o modo como estes devem dados ser tratados de forma a ser possível extrair o máximo de informação dos mesmos, permitindo um dimensionamento do sistema de armazenagem que esteja o mais próximo possível das necessidades dos clientes.

Foi também desenvolvido um procedimento/metodologia composto por várias fases, que explica de forma simples e sucinta como se deve abordar a fase de projeto de uma solução de armazenamento.

### 3.1 Introdução

Percebido o problema foram desenvolvidos um conjunto de passos para abordar o problema da conceção e desenvolvimento de sistemas de armazenamento. Foi necessário realizar um estudo para se perceber qual o melhor modo para abordar o problema. O material encontrado e descrito em vários documentos de autores com experiência na área, sugerem alguns métodos para abordar um problema como o proposto.

A metodologia desenvolvida que tem como objetivo ser capaz de abordar problemas como o proposto nesta dissertação. Esta é composta por várias fases, e o objetivo do seu desenvolvimento passa por explicar de forma simples e sucinta como se deve abordar a fase de projeto de uma solução de armazenamento.

### 3.2 Metodologia

A metodologia desenvolvida encontra-se dividida em duas partes, a primeira relacionada com a recolha de informações e dados necessários que permitem perceber melhor o problema que é necessário resolver, e a segunda parte consiste na aplicação de várias etapas que culminam em um ou vários planos para resolver o problema proposto.



### 3.2.1 Informações e Dados Necessários

Num projeto de concepção de uma solução de armazenagem, para este ser executado de forma correta e exata, é necessário possuir todos os dados relativos às várias/múltiplas variáveis que são utilizadas ao longo de toda a cadeia da organização. Para além de alguns dados, será necessário conhecer algumas restrições que possam existir e que possam ser determinantes para o dimensionamento.

As informações que são necessárias conhecer estão relacionadas com as características dos produtos a armazenar, como a quantidade, peso e dimensões. Será necessário conhecer também o perfil das encomendas das compras, bem como das ordens de fabrico.

Na lista seguinte encontram-se as informações necessárias num projeto de concepção de armazéns, sendo depois explicado o que se pretende com cada parâmetro e qual a sua pertinência:

- quantidades em stock de cada produto;
- stock total;
- características da unidade de armazenamento;
- níveis de atividade;
- número de linhas de produção;
- perfil típico das encomendas de material a receber;
- perfil típico das encomendas das ordens de produção.

As quantidades em *stock* e de *stock total* de cada produto é fundamental saber, devido ao facto de se referir ao número de produtos diferentes (referências), a quantidades máximas, mínimas e médias existentes ao longo de um certo período de tempo. Estes dados estudados com atenção e com cuidado permitem perceber o comportamento do stock que é necessário armazenar, permitindo perceber a sua oscilação ao longo do período a que os dados se referem.

As características da unidade de armazenamento são várias e é necessário conhecê-las, estas podem ser o peso, dimensões, se é frágil ou não, e o número de artigos que contêm, por exemplo uma caixa com várias peças lá dentro.

A informação relativa aos níveis de atividade tem a ver com a necessidade de perceber os movimentos, de entradas e saídas dos vários materiais. Na mesma sequência e para perceber também qual a cadência necessária ao nível do armazém a informação do número de linhas de produção também é importante conhecer.

O perfil típico das encomendas está relacionado com a necessidade de perceber o modo como são realizadas as encomendas de material, bem como a sua receção e armazenamento, por exemplo se vai ocorrer receções constantes de material ou se existe sazonalidade, os artigos são rececionados tipicamente em grandes paletes ou em pequenas caixas. Estas são algumas das questões que os dados devem responder.

Quando o objetivo passa por reutilizar equipamentos existentes nas organizações é necessário conhecer os equipamentos de armazenamento e de movimentação existentes. É necessário considerar também algumas restrições, principalmente as que estão relacionadas com as dimensões

existentes para o desenvolvimento de uma solução como é o caso da área (comprimento e largura), e também a altura.

O conjunto de todas estas informações é que torna possível desenhar, projetar e conceber uma solução que vá de encontro às necessidades da organização.

### **3.2.2 Projeto**

Para a realização de um projeto de concepção e dimensionamento de um armazém foram identificadas várias etapas, todas igualmente importantes, que permitem abordar o problema de concepção e dimensionamento de um armazém de forma direta e mais eficaz.

Este modelo foi desenvolvido no âmbito desta dissertação, procurando ser um modelo genérico capaz de se adaptar a qualquer situação.

Para o seu desenvolvimento foram analisados alguns artigos, casos de estudo e foi analisada a indústria do setor têxtil (principalmente mas não só) para perceber o seu funcionamento.

#### **3.2.2.1 Fases**

Foi desenvolvida uma metodologia inovadora que permite abordar o tema desta dissertação, com as várias fases que foram identificadas e enunciadas de seguida:

1. Identificação do Problema
2. Análise de Stock
3. Análise dos Níveis de Atividade
4. Análise das Ordens de Produção
5. Sistema de Armazenagem
6. Expedição e Receção
7. Layout
8. Custos
9. Apresentar Soluções e Conclusões

É importante seguir a ordem pela qual são apresentadas as várias fases/etapas de modo a cumprir a sua sequência lógica, para ser possível obter a melhor solução.

Nos próximos pontos serão descritas as várias fases/etapas de forma simples e sucinta, realçando tudo o que é importante em cada uma delas.

#### **1º Identificação do Problema**

Nesta primeira etapa é fundamental identificar e compreender o problema, de modo a perceber de forma concreta e correta qual é verdadeiramente o problema que existe e que necessita de ser resolvido. Depois de compreendido o problema é necessário decidir quais os dados e informações que são necessários e que permitam uma melhor identificação do problema.

Uma boa solução para ter uma perspetiva tanto do problema como do modo como a empresa está organizada e opera, é desenhar os processos da mesma. Estes permitem ter uma perspetiva integrada de toda a empresa.

Depois de desenhados os processos é mais fácil e perceptível perceber e decidir quais os dados e informações necessárias para abordar o problema que se encontra pela frente, procedendo-se ao pedido e recolha dos dados junto da empresa.

Resumo:

- Identificar e assimilar o problema, através do desenho dos processos;
- Decidir os dados e informações necessários;
- Proceder a recolha dos dados.

## **2º Análise de Stock**

Nesta etapa é importante compreender o *stock*, analisando os vários dados fornecidos nomeadamente nos três primeiros pontos do subcapítulo anterior (quantidades em stock de cada produto, stock total e características da unidade de armazenamento).

A análise dos dados permite perceber as várias características dos produtos tanto ao nível do peso e dimensões, frágil ou não, como é armazenado, se em caixas, paletes ou gavetas, quantidades e rotatividade.

Resumo:

- Analisar stock de alta e baixa rotação;
- Analisar como armazenar o stock;
- Calcular a capacidade necessária;
- Definir índices de utilização.

## **3º Análise dos Níveis de Atividade**

Nesta etapa é necessário analisar os dados fornecidos referentes aos níveis de atividade para perceber os movimentos de entradas e saídas do armazém. O modo como são realizadas as receções de materiais, a sua frequência e quantidades são variáveis, e são importantes de estudar.

Na análise de movimentos é fundamental perceber como estes são efetuados, se é necessário recorrer a algum tipo de equipamento e como é efetuado o seu manuseamento no transporte entre as várias zonas.

Resumo:

- Analisar os níveis de atividade requeridos;
- Analisar os movimentos exigidos.

#### **4º Análise das Ordens de Produção**

Este é o último ponto de análise de dados, sendo que por fim é necessário analisar e perceber as características das ordens de produção. As ordens de produção têm vários pontos que são importantes de estudar como a quantidade de materiais diferentes e iguais envolvidos, esses materiais podem encontrar-se em posições diferentes e distantes no armazém razão pela qual é necessário estudar o número de movimentos necessários. Saber a duração de uma ordem de produção permite perceber a sua periodicidade.

Resumo:

- Analisar as características de uma ordem de produção;
- Calcular os movimentos necessários.

É importante notar que os pontos de análise anteriormente mencionados podiam encontrar-se em apenas um único ponto de abordagem, sendo que tal não foi feito com o objetivo de facilitar a sua compreensão.

Os pontos acabam por estar um pouco relacionados entre si ao nível da informação que tratam, e da informação que é possível extrair deles.

#### **5º Sistemas de Armazenagem**

Depois de analisada toda a informação, existem condições para proceder ao desenvolvimento de uma solução. Com base na informação analisada e extraída anteriormente é necessário agora decidir qual o melhor sistema para o problema.

Neste ponto o objetivo é arranjar um conceito de um sistema de armazenamento como solução, sendo o seu dimensionamento abordado nos próximos pontos. É no entanto importante perceber o seu funcionamento e os seus requisitos de funcionamento ao nível dos equipamentos e mão-de-obra.

Resumo:

- Considerar vários sistemas de armazenagem;
- Analisar o funcionamento dos vários sistemas e os seus requisitos de funcionamento.

#### **6º Expedição e Receção**

Nesta etapa, e depois de os dados já terem sido analisados, o objetivo é agora decidir qual a área e o número de entradas e saídas necessárias para os níveis de atividade, de expedição e receção do armazém.

A solução deve ser capaz de abastecer a produção de modo a não prejudicar a velocidade de produção. O sistema deve ser capaz de cumprir com todos os requisitos da preparação das encomendas ou ordens de produção, assim como de receção de materiais e o seu armazenamento.

Depois de calculadas e definidas as áreas necessárias, bem como as entradas e saídas, na etapa anterior, e ter sido definido o sistema de armazenamento a implementar, é agora possível calcular o número de equipamentos bem como a mão-de-obra necessária para o seu funcionamento.

Resumo:

- Calcular áreas, número de entradas e saídas necessárias para os níveis de atividade de expedição e receção do armazém;
- Calcular o equipamento necessário;
- Calcular a mão-de-obra necessária.

### **7º Layout**

Nesta etapa e depois de conhecidos todos os dados que influenciam a definição do layout, é agora necessário definir o *layout* mais conveniente. É necessário ter em conta que existem alguns fatores que condicionam o *layout* como a área e as dimensões disponíveis, o posicionamento de alguns departamentos que possam existir na própria empresa e o manuseamento de equipamentos que sejam necessários.

O armazém deve localizar-se num ponto em que permita a fácil e rápida receção dos materiais, assim como a fácil expedição e preparação das ordens de produção.

Muitas vezes associado ao armazém existe uma zona exterior onde é realizado um armazenamento intermédio temporário, local que pode ser apenas um ponto onde os materiais aguardam até serem armazenados ou um ponto de controlo de quantidades e qualidade.

Resumo:

- Determinar fatores que possam limitar o *layout* do armazém;
- Definir o *layout* mais conveniente.

### **8º Custos**

Depois de encontrada uma ou várias soluções é necessário verificar os custos de implementação de cada solução. É fundamental determinar também os custos anuais de funcionamento de cada uma das soluções e analisar a sua rentabilidade financeira.

Resumo:

- Calcular os custos totais anuais referentes à opção ou opções consideradas;
- Analisar a rentabilidade financeira.

### **9º Apresentar Soluções e Conclusões**

Depois de todo o estudo efetuado é necessário apresentar as várias soluções encontradas com uma descrição detalhada tanto ao nível da conceção como ao nível das operações de modo a ser possível perceber o modo de funcionamento de cada solução bem como as suas vantagens e limitações. Deverá ser apresentado também o relatório com os custos de implementação de cada

uma das soluções e os custos anuais esperados de funcionamento de cada solução para ser possível determinar qual a melhor opção.

Esta etapa consiste na compilação e interpretação de toda a informação gerada nas etapas anteriores.

Resumo:

- Apresentar os vários planos;
- Detalhar todas as operações e informações;
- Decidir e documentar todas as soluções.



## **Capítulo 4**

# **Caso de Estudo**

### **4.1 Requisitos do Sistema**

Os requisitos e limitações definidos prende-se com a necessidade do problema do caso de estudo permitir ir de encontro à realidade da indústria que está a ser alvo de estudo. Foi definida a necessidade de armazenar 720 (setecentas e vinte) caixas num espaço máximo de 6 (seis) metros de altura por 16 (dezasseis) metros de comprimento. As caixas a utilizar apresentam dimensões de 600x400 (seiscentos por quatrocentos) milímetros, respetivamente profundidade e largura. O armazém tem de ter a capacidade de armazenar 4 (quatro) referências de materiais diferentes, sendo que todas as caixas têm a mesma quantidade de material e o número de caixas por referência também é igual.

Colocados estes requisitos, iniciou-se um estudo para encontrar soluções de armazenamento no mercado que sejam capazes de cumprir os requisitos especificados.

### **4.2 Soluções de Armazenamento**

Nesta secção serão estudadas e apresentadas algumas soluções de armazenamento existentes no mercado, bem como o seu modo de operação. As vantagens e desvantagens das várias soluções encontradas serão observadas para a situação do caso de estudo, sendo que no final vai ser escolhida apenas uma das soluções, sendo essa a solução que posteriormente será a base do desenvolvimento da solução final que irá ser simulada.

#### **4.2.1 Soluções Analisadas**

Tendo em consideração os requisitos colocados no caso de estudo, foram analisadas várias soluções de armazenamento principalmente automático. Depois de realizada uma pequena filtragem das soluções encontradas, vão ser apresentadas de seguida apenas aquelas que foram consideradas as mais interessantes.



### Mecalux

A primeira solução encontrada foi um transelevador para caixas da Mecalux, que consiste num sistema standard de armazenamento automático para caixas. Este sistema permite a utilização de vários tipos de caixa e de vários tamanhos. Esta solução é composta por um corredor central onde circula um transelevador, nas prateleiras em seu redor encontram-se as caixas, sendo que esta solução só suporta uma caixa de profundidade. Num dos extremos encontra-se a zona onde o transelevador deposita a caixa que recolheu da estante.

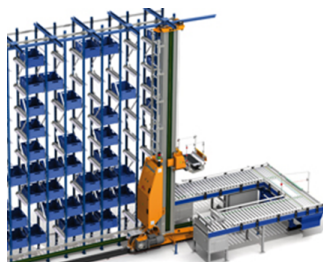


Figura 4.1: Transelevador para caixas da Mecalux

Esta solução é utilizada quando o nível de exigência de *picking* não é muito elevado. Tem como grande vantagem o facto de não ocupar muito espaço e permitir vários tipos de caixas. Por outro lado apenas permite uma caixa de profundidade por prateleira e só possui uma zona de *picking*, sendo duas grandes desvantagens.

### SwissLog

A solução encontrada da SwissLog foi o AutoStore, que é definido pela própria marca como flexível, eficiente e económico no espaço. É uma solução bastante diferente de todas as outras e é inovadora no conceito. Esta solução possui robôs com capacidade de elevação e transporte de caixas. Os robôs circulam na parte superior do armazém realizando a recolha das caixas desejadas nessa zona, posteriormente colocam as caixas numa das zonas onde existe um elevador que coloca as caixas nas *picking stations* onde se encontram os operadores. Os operadores apenas introduzem no sistemas qual o produto que procuram, sendo que o sistema automaticamente encarrega-se de controlar de forma automática os vários robôs e os seus percursos.



Figura 4.2: AutoStore da SwissLog



Figura 4.3: Robô utilizado na solução AutoStore da SwissLog

Esta solução é principalmente utilizada quando é necessário guardar grandes quantidades e variedades de artigos, sendo que é mais vantajosa quando as caixas são o artigo que se quer recolher e não apenas artigos que se encontram guardados dentro dessas caixas. Esta solução oferece uma grande capacidade de *picking*, devido a possibilidade de várias zonas de *picking* e a possibilidade de ter vários robôs a trabalhar em simultâneo. Possibilita também o uso de pelo menos duas unidades de carga distintas, dependendo do tamanho de armazenamento que se pretende.

### Gebhardt

A solução encontrada da Gebhardt foi o StoreBiter 300 Shuttle versão 300 MLS, que é definido pela própria marca como um sistema com uma estrutura modular e altamente eficiente. A versão analisada consiste num sistema com um shuttle (robô) que circula num corredor central, onde vai realizar o *picking* das caixas que se encontram nas prateleiras. Nesta versão, StoreBiter 300 MLS, cada shuttle é responsável pelo *picking* até uma altura que é possível definir, ou seja, o shuttle tem capacidade de elevação para chegar a uma prateleira com uma altura superior em relação aquela onde circula. As duas imagens seguintes ilustram bem a descrição realizada, sendo possível perceber a sua capacidade de elevação.



Figura 4.4: Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS



Figura 4.5: Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS

Este sistema permite integrar vários sistemas iguais de forma simples em altura para obter um sistema mais eficiente. A imagem seguinte permite perceber melhor a sua integração.

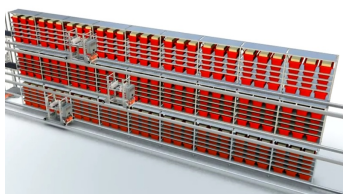


Figura 4.6: Shuttle da Gebhardt, StoreBiter 300 MLS

Este sistema tem a capacidade de permitir duas zonas de *picking* mas ambas necessitam de ficar em zonas opostas, outra grande vantagem deste sistema é o facto de ser possível armazenar caixas de diferentes dimensões. O shuttle tem a capacidade de realizar a recolha de duas caixas numa só viagem.

### TGW

A solução encontrada da TGW foi Stingray Shuttle Solution, que é definido pela própria marca como um sistema altamente eficiente, completamente flexível e é um sistema modular. Este sistema consiste num pequeno shuttle que circula ao nível das prateleiras realizando o *picking* de caixas que podem ter diferentes dimensões e que permite a recolha de várias caixas numa só viagem dependendo da dimensão das mesmas. A imagem seguinte ilustra o shuttle.



Figura 4.7: Shuttle da TGW, Stingray Shuttle Solution

Este sistema devido a sua modularidade permite a implementação de no máximo um shuttle por cada andar de prateleiras, fazendo deste sistema um sistema com grande capacidade de resposta ao nível do *picking*. A imagem seguinte ilustra a possibilidade de existirem vários shuttles na mesma solução de armazenagem.



Figura 4.8: Shuttle da TGW, Stingray Shuttle Solution

O shuttle pode também movimentar-se entre as várias prateleiras em altura, sendo necessário para isso um sistema auxiliar como é possível verificar na figura seguinte.



Figura 4.9: Shuttle e Sistema Auxiliar para Movimentação entre as várias Prateleiras em Altura

Devido a sua grande modularidade este sistema permite a possibilidade de existência de duas zonas de *picking* mas ambas necessitam de ficar em zonas opostas do sistema.

Este tipo de solução é muito flexível e permite que a empresa que o implemente possa a qualquer momento aumentar a sua capacidade de *picking* sem existir a necessidade de alterações profundas.

#### 4.2.2 Soluções Escolhida

Depois de encontradas várias soluções, de perceber o seu funcionamento bem como as suas vantagens e desvantagens, a decisão recai no sistema da TGW Stingray Shuttle Solution. Esta foi a opção escolhida devido ao grande número de caixas e de referências diferentes que se pretende armazenar. Os níveis de atividade foram outro fator a ter em conta, já que o número de ordens de produção bem como a cadência necessária para colocar os materiais na produção são elevados.

A solução da Gebhardt StoreBiter 300 Shuttle versão 300 MLS também foi tida em grande consideração tendo sido preterida pelo facto de ser menos flexível que a solução da TGW. O sistema escolhido permite o aumento da capacidade de *picking* até um máximo de um shuttle por andar de prateleira a qualquer momento sem necessidade de alterações estruturantes no armazém, devido a sua grande flexibilidade.

Para o caso de estudo a solução da Gebhardt poderia ser igualmente uma boa opção. Ambas as soluções vão de encontro as necessidades operacionais da empresa em estudo, a diferença de uma solução em relação a outra estaria na parte financeira.

Mas foi preciso tomar uma decisão e devido a maior flexibilidade a opção recaiu pela solução da TGW.

#### 4.2.3 Especificação do Sistema

Nesta secção será abordado o funcionamento do sistema que irá ser desenvolvido e simulado recorrendo à ferramenta ARENA Simulation. Inicialmente será realizada uma descrição de todos os elementos que constituem o sistema a ser desenvolvido, sendo de seguida especificado o modo como irá operar o mesmo.

#### 4.2.3.1 Constituição

Depois de escolhido o sistema de armazenagem que melhor se adaptava ao problema proposto, é necessário agora especificar o modo como o sistema deverá funcionar. De seguida será descrito o sistema que vai ser implementado na simulação, bem como todos os elementos que o constituem.

A solução de armazenagem que se procura implementar tem de ter apenas a capacidade de armazenar caixas, por sua vez cada caixa irá possuir uma referência que corresponde à referência do material no seu interior. Cada caixa suporta uma determinada quantidade máxima de peças, dependendo da sua referência. As caixas não têm posição fixa no armazém, ou seja, quando uma caixa é retirada do armazém e posteriormente colocada não têm necessariamente de ir para a posição de onde foi retirada.

O Armazém é constituído por vários andares, doze neste caso, sendo a altura de seis metros, com um comprimento de dezasseis metros. Ao longo do comprimento do armazém encontram-se sessenta caixas por andar, estando estas divididas por duas prateleiras por andar, o que significa que se encontram trinta caixas em cada prateleira.

As caixas a serem utilizadas têm dimensões de 600x400 mm, sendo que os seiscentos são referente a sua profundidade e os quatrocentos à sua largura frontal. É possível a partir destes valores definir que a distância entre o centro de duas caixas consecutivas lado a lado vai ser de quinhentos milímetros.

Para o sistema operar é necessário um elevador que efetue o percurso vertical ao longo da altura do armazém, e dois AGV's que circulem entre as prateleiras dos vários andares no armazém. É ainda necessário um sistema de tapetes ligados ao elevador para movimentar as caixas na zona exterior ao armazém.

#### 4.2.3.2 Funcionamento

Depois de definido os elementos necessários que constituem o sistema de armazenagem é necessário agora explicar o papel de cada um desses elementos.

Os AGVs têm o papel de recolher e colocar as caixas nas várias posições do armazém, sendo que cada um dos AGVs fica responsável por apenas uma parte do armazém. Neste caso foi definido que cada AGV apenas pode percorrer as posições de seis andares, visto que o armazém tem uma altura de doze andares. Um dos AGVs fica responsável pelos andares do um ao sexto, e o outro pelos andares do sétimo ao décimo segundo. Os AGVs possuem um sistema de movimentação que lhes permite circular entre as prateleiras, sendo que não necessitam de efetuar qualquer tipo de rotação para recolher as caixas das suas posições. Para recolher as caixas das posições os AGVs recorrem a um sistema de garras de modo a minimizar a possibilidade de ocorrência de algum tipo de erro que leve a queda inadvertida de uma caixa. Cada um destes veículos apenas tem a capacidade de transportar um caixa de cada vez. Para efetuar a mudança entre andares, esta apenas pode ocorrer quando o AGV se encontra na posição mais próxima do elevador de entrada. Ele tem a capacidade de subir e descer entre os andares sem qualquer tipo de ajuda auxiliar. É também nestes pontos ao longo dos andares que o AGV efetuará a carga e a descarga das caixas

para o elevador vertical, que será abordado de seguida. Foi definido pelo projeto que ambos os AGVs se movimentam a uma velocidade de 1m/s, conseguindo atingir essa velocidade ao final de 1,5 segundos.

Na parte exterior do armazém mas complementar ao mesmo, existe um sistema de tapetes rolantes que move as caixas da saída do armazém até ao posto onde se encontra o operador do armazém. O operador do armazém quando tem uma caixa à sua frente pode realizar duas operações, carregar ou descarregar as caixas com material. Quando o operador completa a sua tarefa a caixa entra novamente num sistema de tapetes rolantes que colocam a caixa em posição de poder ser recolhida para entrar novamente no armazém. Os tapetes têm a capacidade de ter no máximo uma quantidade de quarenta e quatro caixas em simultâneo. O sistema de tapetes rolantes tem um formato em U, sendo que com esta configuração permite ter uma entrada e uma saída, rodando todos no mesmo sentido.

O elevador vertical é outro elemento indispensável ao sistema, o seu papel consiste em efetuar o transporte das caixas entre o exterior e o interior do armazém, ou seja, efetua o transporte das caixas entre um dos AGVs e os tapetes rolantes, sendo que apenas tem capacidade de recolher uma caixa de cada vez. Por sua vez os AGVs são depois responsáveis por colocar as caixas na posição correta. Quando se trata de retirar uma caixa do armazém já os papéis se invertem um pouco, o AGV é responsável por recolher a caixa e leva-la até ao elevador que se desloca até ao andar em questão e realiza a recolha da mesma. De seguida o elevador é responsável por colocar a caixa no sistema de tapetes rolantes.

Por seu lado as caixas são guardadas no armazém de modo agrupado, neste caso por referência, a figura 4.10 ilustra o modo como é efetuado esse agrupamento.

Andar 12				
Andar 11				
Andar 10				
Andar 9				
Andar 8				
Andar 7				
Andar 6				
Andar 5				
Andar 4				
Andar 3				
Andar 2				
Andar 1				
	Ref 1	Ref 2	Ref 3	Ref 4
	Ref 1	Ref 2	Ref 3	Ref 4

Figura 4.10: Distribuição das referências pelos andares do Armazém

Na figura 4.10 também é possível observar que o armazém foi dividido em duas “zonas” de movimentação, como referido anteriormente, uma para cada um dos AGVs.



## Capítulo 5

# Modelo de Simulação

### 5.1 Introdução

No capítulo anterior apresentou-se um sistema de armazenamento e movimentação materiais, que foi escolhido e especificado para o caso de estudo.

Neste capítulo apresenta-se o processo de conceção e desenvolvimento do modelo de simulação. Para a implementação dos modelos em simulação, utilizou-se a ferramenta de simulação Arena Simulation, onde foi desenhado o modelo característico do sistema de armazenamento de materiais.

Este modelo, procura representar um sistema que possa ser implementado numa empresa.

Neste estudo, a simulação foi realizada recorrendo ao ‘software’ de simulação Arena, versão 14.0, com uma cópia disponibilizada para este estudo pela FEUP.

### 5.2 Desenvolvimento

Para o caso de estudo apresentado nesta dissertação foi especificado e descrito o seu modo de funcionamento no capítulo anterior.

Neste capítulo vai ser descrita a lógica de controlo e de funcionamento do armazém a simular, assim como os vários módulos desenvolvidos que permitem o seu correto funcionamento.

#### 5.2.1 Lógica de Controlo do Sistema

Para o desenvolvimento do modelo em Arena foi inicialmente definido o modo como o armazém deverá operar desde o primeiro instante até ao momento em que é concluída a simulação.

O sistema de controlo desenvolvido encontra-se dividido em 3 (três) partes, carregamento do armazém com caixas vazias, processamento de pedidos para carregamento de caixas e processamento de pedidos para ordens de produção, *order picking*.

A lógica de controlo desenvolvida prevê estas situações tendo sido atribuída a prioridade sempre que possível ao *picking* da caixa do armazém, em detrimento do movimento de a colocar. A única exceção é verificada quando o sistema arranca e se encontra sem caixas, nesse primeiro



instante a prioridade é o carregamento do armazém com caixas vazias. A importância do sistema encontra-se essencialmente na lógica de processamento de pedidos para carregamento de caixas e no processamento de pedidos para ordens de produção, sendo apenas estas duas situações que se encontram descritas nos diagramas a apresentar.

Num cenário onde o armazém se encontra com todas as caixas nas suas posições mas com estas vazias, o sistema de controlo trata em primeiro do carregamento das caixas, e só depois vai processar os pedidos para a produção. Na figura A.1 encontra-se o diagrama de funcionamento do sistema para a situação onde é necessário carregar as caixas com material.

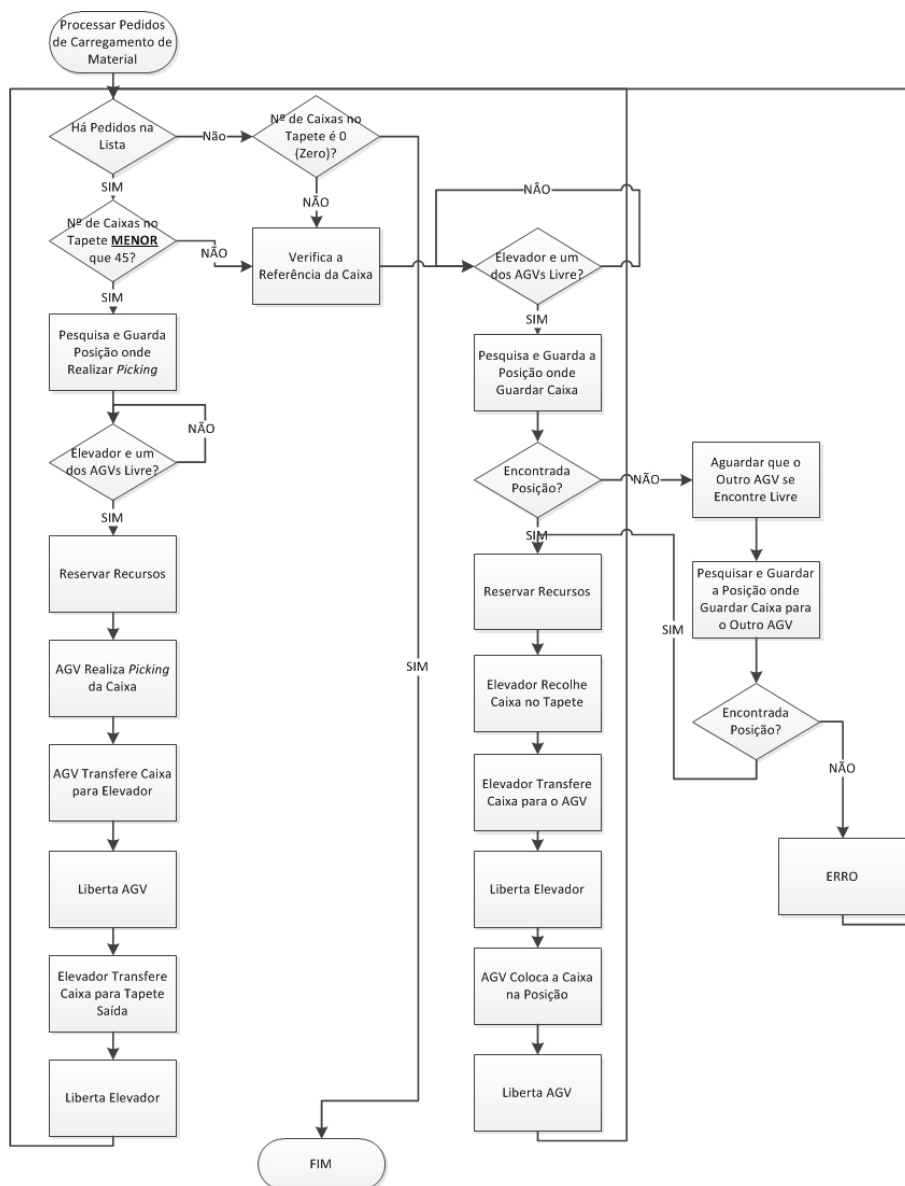


Figura 5.1: Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material

Inicialmente, e existindo pedidos na lista, é necessário retirar as caixas do armazém recorrendo aos AGVs, como é possível observar no gráfico os AGVs colocam as caixas no recurso

partilhado que é o elevador, este por sua vez coloca a caixa na saída do armazém, tapete de saída. As caixas vão percorrer um sistema de tapetes até aparecerem num outro tapete, tapete entrada, onde será necessário voltar a coloca-las novamente no armazém. O percurso que é necessário as caixas realizarem é o mesmo que anteriormente mas agora em sentido contrário. É necessário ter em atenção a divisão que foi realizada do armazém, figura 4.10, a colocação das caixas tem de respeitar a ordem de distribuição que foi considerada. O bloco do gráfico responsável por garantir esse cenário de armazenamento é o que se encontra na figura 5.2.

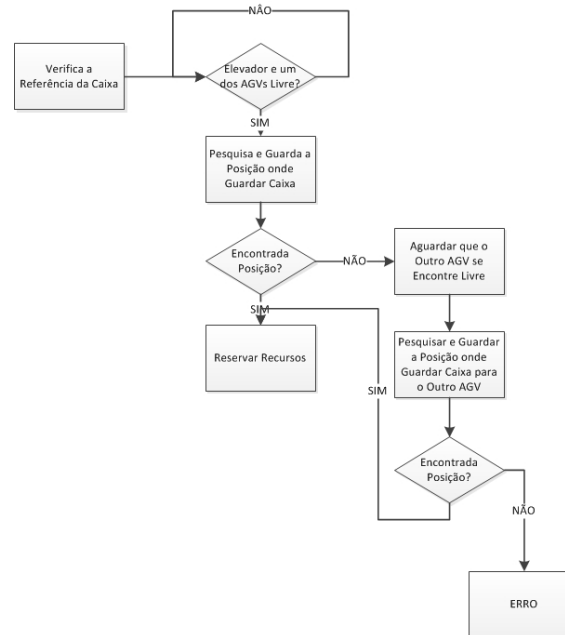


Figura 5.2: Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material - Parcial

Em primeiro lugar é verificada a referência da caixa a colocar no armazém, procedendo-se à verificação da disponibilidade dos recursos. Quando o elevador e um dos AGVs se encontrar disponível, o sistema vai verificar se nas posições a que esse AGV pode aceder se encontra alguma posição livre na “zona” da referência em questão. Encontrando uma posição disponível que cumpra o requisito, o sistema vai reservar os recursos necessários e proceder a ação de colocar a caixa na posição do armazém. Para o caso de não encontrar uma posição livre na “zona” da referência do AGV em causa, o sistema vai aguardar que o outro AGV se encontre disponível e proceder à mesma verificação mas agora para as posições a que este tem acesso. Verificando a existência de uma posição livre e cumprindo o requisito, vai proceder à reserva necessária dos recursos. Caso volte a não encontrar uma posição livre que cumpra o requisito, o sistema vai deitar a caixa fora, para o sistema poder continuar.

Depois de processado o carregamento do armazém com material, o sistema vai agora dar prioridade ao processamento de pedidos de ordens de produção. Na figura A.2 encontra-se o diagrama de funcionamento do sistema para a situação onde é necessário realizar o *picking* para satisfazer as ordens de produção.

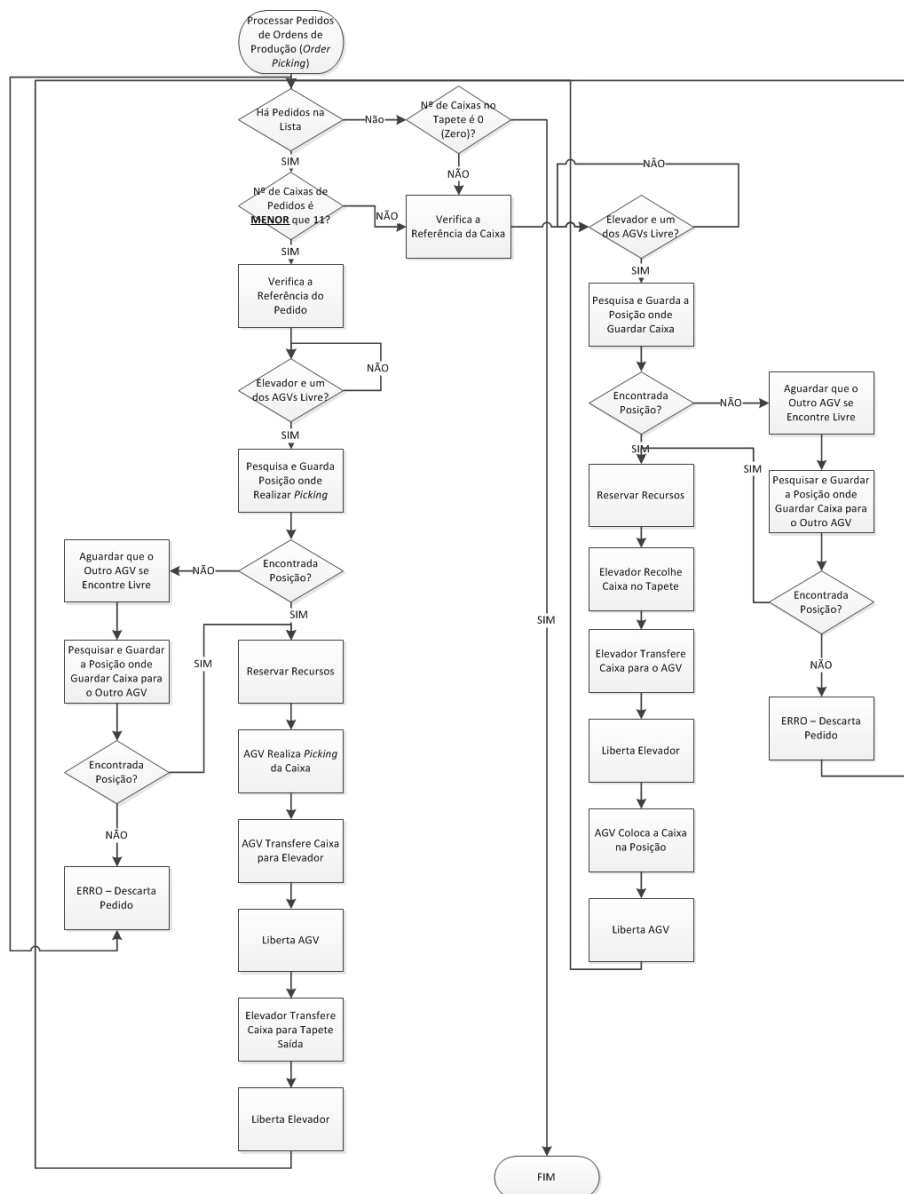


Figura 5.3: Lógica de Controle - Processar Pedidos de Ordens de Produção

Para o processamento de pedidos para ordens de produção o caminho que as caixas têm de realizar é o mesmo que no cenário de processamento de pedidos para o carregamento de caixas. O sistema começa por verificar se existem pedidos na lista, existindo o sistema verifica se o número de caixas de pedidos no tapete é inferior a 11 (onze). O número de caixas de pedido é o número de pedidos que já foram processados, sendo que cada pedido é composto por 4 (referências) o que implica que é necessário retirar uma caixa de cada referência. Quando se realiza a verificação se o número de caixas de pedido é menor que 11 (onze), o que se quer garantir é existe pelo menos 4 (quatro) posições livres no tapete para ser possível processar pelo menos um pedido inteiro de cada vez.

Como o armazém se encontra dividido em 4 (quatro) “zonas”, por referência, e cada AGV é responsável por um determinado número de andares, é necessário que a referência que procuramos se encontre nas posições do AGV que vamos reservar. O bloco do gráfico responsável por garantir que essa condição se verifica é o que se encontra na figura A.2.

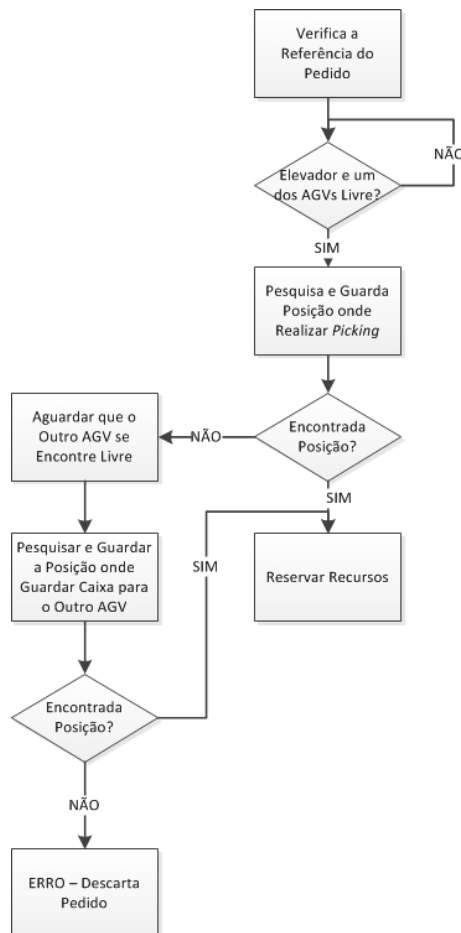


Figura 5.4: Lógica de Controle - Processar Pedidos de Ordens de Produção - Parcial

Como é possível observar no diagrama da figura 5.4 primeiro verifica-se qual a referência do pedido a processar, seguindo-se a verificação da disponibilidade dos recursos. Antes de alocar os recursos é necessário realizar uma verificação para garantir que para o AGV se encontra livre e há uma caixa com a referência necessária. Caso seja encontrada posição os recursos necessários são reservados. Caso não seja verificada a existência de caixa disponível nas posições do AGV considerado, o sistema aguarda que o outro AGV fique disponível para verificar se nas posições referentes a este segundo é possível tratar o pedido. Caso seja verificado os recursos necessários são reservados, caso volte a não encontrar o pedido é descartado, para o sistema poder continuar.

### 5.2.2 Ferramenta de Simulação Arena

A modelação do sistema foi realizado recorrendo ao software ARENA. Este software permite a construção de um fluxograma através da utilização dos módulos existentes. A configuração de cada um dos módulos com os dados existentes do processo define o processo a ser simulado. A informação necessária à simulação do processo fica armazenada nos módulos.

As áreas de trabalho no ARENA estão organizadas numa barra lateral de projetos que contém as ferramentas necessárias à construção e simulação do modelo. Nessa barra lateral as áreas que foram utilizadas ao desenvolvimento deste projeto foram:

- Basic Process Panel: Contem os módulos essenciais à elaboração de um projeto de simulação;
- Advance Transfer Panel: Inclui módulos específicos para a configuração do transporte das entidades no modelo;
- Advance Process Panel: Inclui módulos específicos para a configuração dos processos no modelo;
- Report Panel: Contem os relatórios com os resultados da simulação;
- Navigate Panel: Permite criar teclas de atalho para uma navegação mais eficiente e rápida nas diferentes partes do modelo;
- Elements Panel: Permite definir variáveis e atributos, estações e interseções, entre outros, e as relações que existem entre eles.

A utilização dos diferentes módulos disponíveis em Arena depende do modelo a desenvolver. No desenvolvimento deste projeto os módulos mais utilizados foram os seguintes:

- Create: Permite criar entidades, sem as quais o sistema não funciona;
- Dispose: Permite remover as entidades do modelo;
- Decide: Este módulo efetua as tomadas de decisão. Com base na decisão definida, as entidades seguem pelo caminho correspondente;
- Assign: Este módulo permite alterar valores e atribuir novos às entidades. Também permite alterar valores de variáveis do sistema;
- Entity: Este módulo permite definir os vários tipos de entidades e a imagem inicial na simulação;
- Queue: Este módulo de dados permite definir o número de filas a utilizar no sistema;
- Variable: Módulo de dados que é utilizado para definir as dimensões e valores iniciais das várias variáveis;
- Station: Este módulo é utilizado na definição de uma estação ou um conjunto de estações (Set) que corresponde à posição física ou lógica de um local onde as entidades são processadas;
- Transport: Módulo responsável pelo transporte da entidade a ser processada até a sua estação de destino definida. Transportadores que sejam guiados, por exemplo AGVs, podem ser movidos para uma posição diferente da posição de destino da entidade;

- Transporter: neste módulo é possível configurar o trajeto da entidade a transportar com o AGV entre as várias estações. As trajetórias são definidas com recurso aos módulos Network e Network Link;
- Request: Este módulo permite atribuir uma unidade de transporte a uma entidade, movendo a unidade para a posição onde se encontra a entidade. Uma unidade específica de transporte pode ser selecionada para efetuar o transporte dependendo da regra que se definir;
- Network Link: Neste módulo são definidas as interseções entre os vários pontos da rede;
- Network: Permite configurar a rede do sistema e as trajetórias que os transportadores podem realizar no modelo, as interseções foram definidas no Network Link.

### 5.2.3 Modelo Desenvolvido

Para o desenvolvimento do controlo do sistema foi necessário inicialmente definir as prioridades que o sistema deve cumprir, estas prioridades encontram-se nas figuras A.1 e A.2.

Na figura 5.5, é possível observar o arranque do sistema de controlo desenvolvido. O sistema inicialmente carrega o armazém com caixas vazias, tendo sido colocado um contador que permite saber quantas caixas foram permitidas entrar no armazém. São também realizadas duas verificações, a primeira verifica se existem caixas no tapete de entrada do armazém, Station Armazém Entrada, e a segunda verifica se a referência das caixas nessa estação é igual a zero.

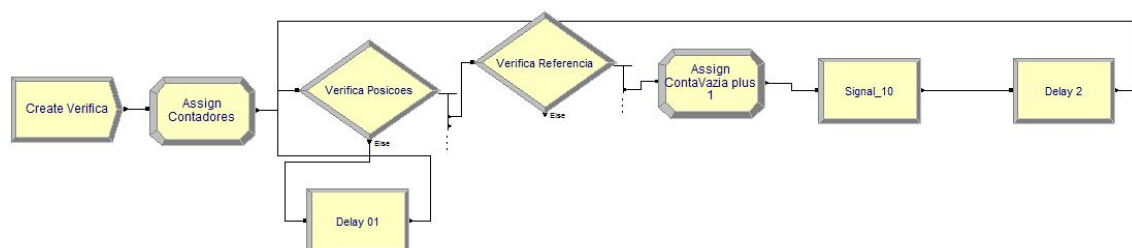


Figura 5.5: Lógica de Controlo 1

Quando o sistema de controlo verifica que ainda não foram colocadas todas as caixas vazias no armazém e os recursos necessários para proceder a essa operação se encontram disponíveis o sistema imite um sinal que vai libertar a entidade caixa que se encontra na Station Armazém Entrada. Esta parte da lógica apenas permite o carregamento em armazém de caixas vazias.

Quando é realizada a primeira verificação, figura 5.5, o primeiro módulo Decide realiza uma verificação para obter a informação de qual o momento em que o armazém se encontra todo carregado com caixas vazias. Depois de preenchido inicialmente o armazém com as caixas vazias a parte da lógica da figura 5.5 nunca mais volta a executar, sendo apenas utilizado o primeiro módulo de verificação. O primeiro módulo passa sempre a verificar que o armazém já foi carregado com as caixas vazias e vai agora conceder a prioridade ao carregamento das caixas com material.

O carregamento de material, vai ser efetuado segundo a distribuição da figura 4.10. O módulo de verificação, como anteriormente foi dito, verifica se o armazém já foi todo carregado com todas

as caixas vazias, se verificar vai entrar numa outra parte da lógica desenvolvida. Nesta parte em primeiro lugar é verificado qual o número de posições livres no armazém, ou seja, o número de posições no armazém que não possuem caixas. Esta lógica é utilizada para garantir que o número de caixas nos tapetes da zona exterior ao armazenamento nunca ficam com mais caixas do que aquelas que realmente tem capacidade. Este módulo da lógica garante o bom funcionamento do sistema, neste caso mais especificamente o bom funcionamento dos tapetes, e encontra-se representada na figura 5.6.

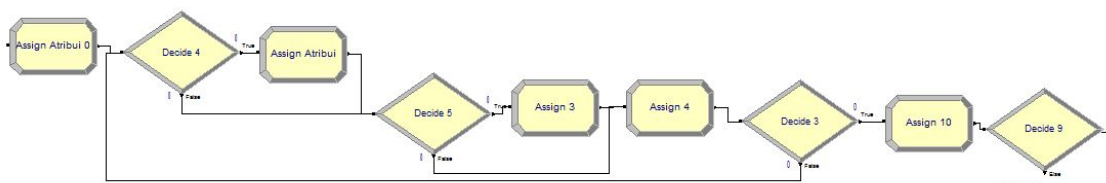


Figura 5.6: Lógica de Controlo 2

Depois de estar garantido que existe espaço nos tapetes para colocar lá pelo menos mais uma caixa, o sistema vai verificar se há pedidos. Estes pedidos consistem no carregamento das caixas que se encontram armazenadas nas posições do armazém. Existindo pedidos o sistema verifica a disponibilidade dos recursos envolvidos na tarefa de ir buscar a caixa à sua posição no armazém, tarefa do AGV, e na disponibilidade de colocar no tapete ou estação de saída do armazém. Os recursos encontrando-se disponíveis o sistema de imediato realiza a reserva do AGV, imitando de seguida um sinal para o sistema avisando que o pedido pode ser tratado. A entidade responsável pelo sistema de controlo fica posteriormente no módulo Hold até a caixa ser colocada no sítio devido, neste caso na estação de saída do armazém. Quando o pedido estiver tratado a entidade é libertada e vai diretamente para o módulo de verificação inicial. Este processo é realizado até não existir mais pedidos de carregamento de material para as caixas. A lógica descrita é possível de se observada na figura 5.7.

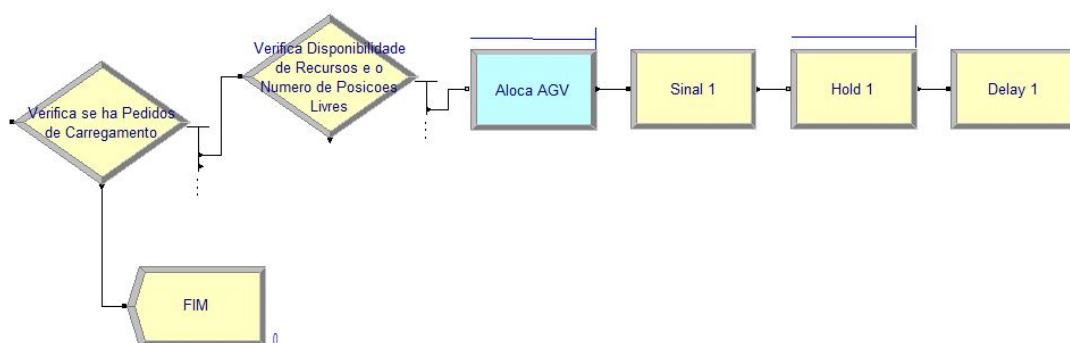


Figura 5.7: Lógica de Controlo 3

O sistema verificando que não há mais pedidos de carregamento de material, vai agora atribuir a prioridade à colocação de todas as caixas que se encontrem nos tapetes exteriores ao armazém, e coloca-las dentro do mesmo. As caixas devem ser colocadas mediante a distribuição da figura 4.10.

Verificando que não há mais pedidos de carregamento, módulo Decide, e que não existem caixas fora do armazém, o sistema vai agora atribuir a prioridade à satisfação da lista de pedidos de material, ou seja, serão realizados pedidos para ir ao armazém encontrar caixas carregadas com uma determinada referência e quantidade e colocar essas caixas na estação de saída do armazém para serem descarregadas. Depois de descarregadas, estas seguem ao longo do sistema de tapetes até a posição de entrada do armazém.

Neste momento o sistema de controlo dá prioridade à colocação das caixas na estação de saída, mas com a limitação em 44 (quarenta e quatro), devido ao número máximo de posições existentes nos tapetes, o sistema vai ser capaz de detetar essa situação e antes de voltar a colocar uma caixa no tapete vai em primeiro lugar retirar uma caixa de lá.

Um dos requisitos no caso de estudo é que o sistema retire uma caixa de cada referência, ou seja, em primeiro lugar o sistema retira uma caixa com a referência 1, seguida da referência 2, da referência 3 e por fim da referência 4, voltando a retirar do armazém novamente por esta ordem.

O sistema sempre que realiza a verificação da disponibilidade de recursos que são necessários utilizar, verifica se estes se encontram livres procedendo logo à sua reserva ou alocação.

As figuras 5.8 e 5.9, ilustram o sistema desenvolvido e descrito anteriormente.

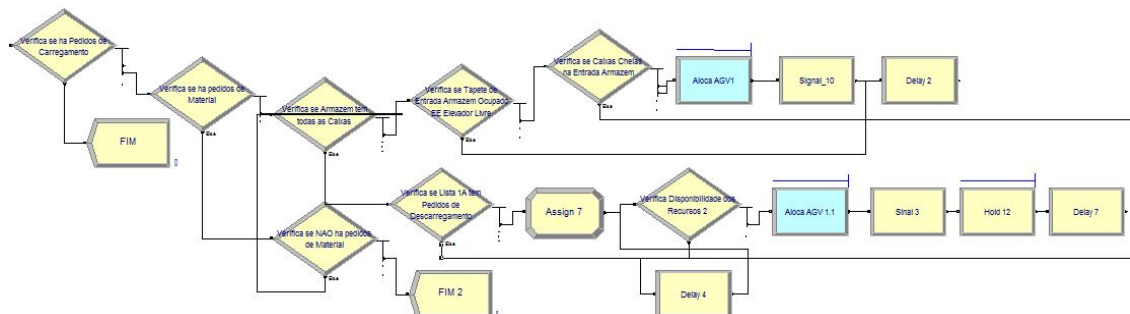


Figura 5.8: Lógica de Controlo 4

O sistema conclui quando verifica que todos os pedidos foram satisfeitos. Caso existam pedidos que não possam ser satisfeitos o sistema guarda-os numa fila, módulo Hold.

### 5.2.3.1 Lógica do Sistema

A zona exterior ao armazém é composta por um sistema de tapetes, já mencionados anteriormente, que permitem às caixas ir da estação de saída do armazém até a estação de entrada. Neste caso não foi considerado nenhum posto de trabalho ao longo ou entre os tapetes, pelo que estes permitem a livre circulação das caixas sem perdas de tempo. A figura 5.10 ilustra a criação das 720 (setecentas e vinte) caixas, o primeiro módulo da figura é módulo Create que cria as entidades



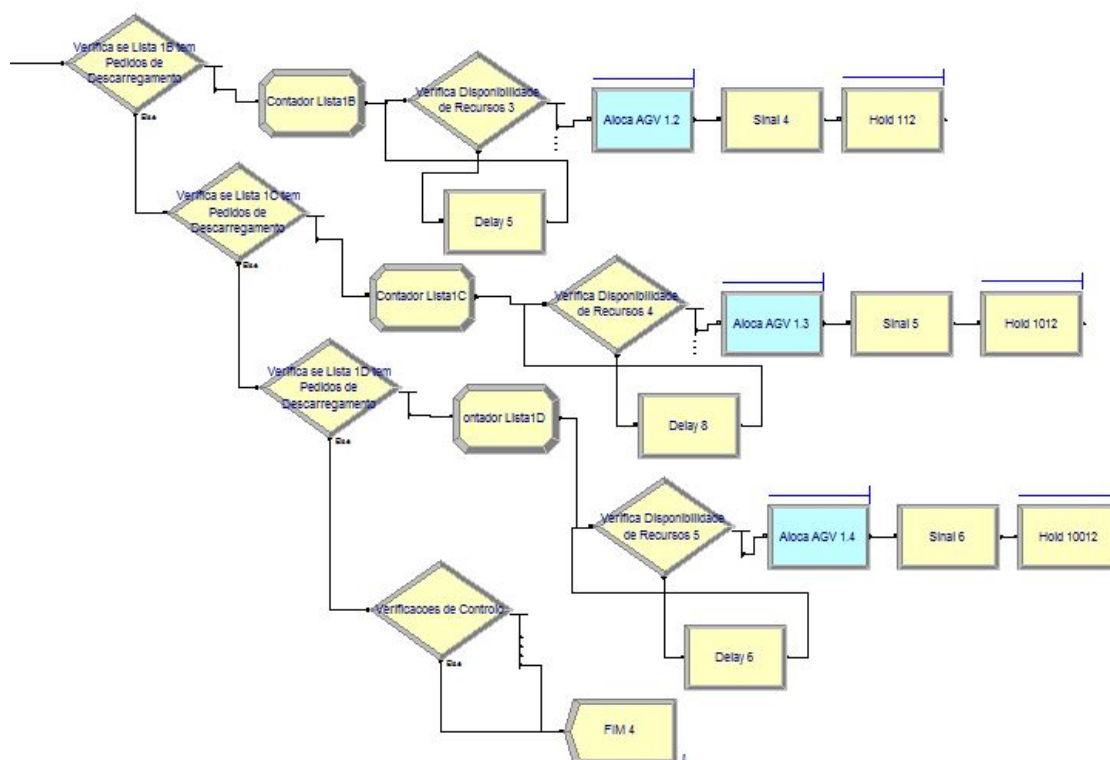


Figura 5.9: Lógica de Controlo 5

caixas, que fazem parte da simulação. No segundo módulo, Assign, que é possível identificar na mesma figura, este realiza a atribuição das características das caixas. A Station criada, Home Station, liga o módulo Assign que cria as características das caixas a um outro módulo Assign que vai ler o tempo atual do sistema. Este é um dos blocos Assign utilizados para efetuar a leitura de tempo.

O módulo com a forma de losango é o módulo Decide, que é utilizado para ler a referência das caixas quando elas passam neste ponto, encaminhando a caixa pelo caminho mediante a condição definida. O sistema para ter a capacidade de transportar as entidades, neste caso as entidades são as caixas, necessita de um módulo Access para aceder ao tapete.

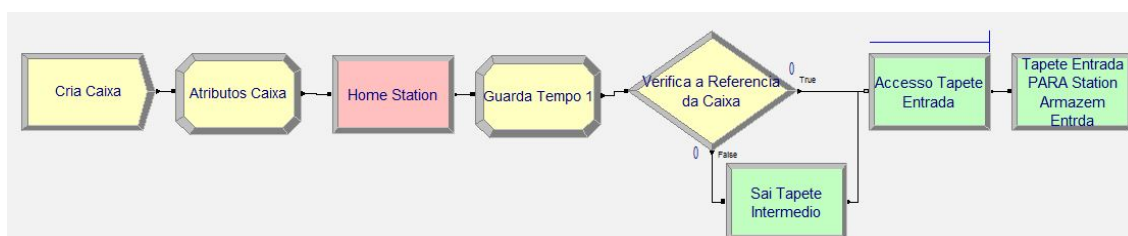


Figura 5.10: Lógica do Sistema 1

O último módulo presente na figura 5.10 é o módulo Convey, que é o responsável por mover a

caixa através do tapete até a posição especificada neste módulo. Neste caso o Convey vai transportar a entidade caixa para a estação Station Armazém Entrada, que é o primeiro módulo da figura 5.11.

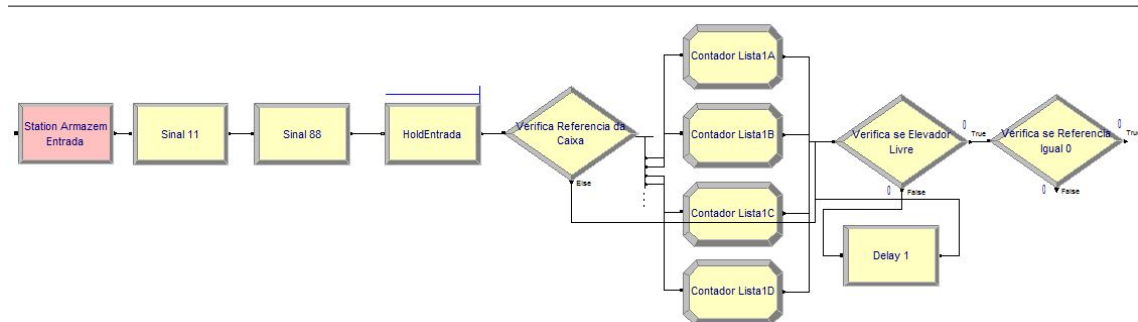


Figura 5.11: Lógica do Sistema 2

A entidade caixa ao movimentar-se pelo sistema na figura 5.11, vai ativar dois módulos Signal, módulos de sinal. Estes módulos vão imitar um sinal numérico definido, sendo que cada um deles imite um sinal diferente, libertando numa parte do sistema módulos Hold que aguardam por esses sinais.

O módulo Hold da figura 5.11, HoldEntrada, recebe uma entidade caixa de cada vez, ficando a aguarda um sinal da lógica de controlo para libertar a entidade caixa que está a segurar. A entidade sendo libertada do módulo HoldEntrada, entra no módulo Decide que vai verificar qual a referência da entidade e encaminha-a pelo caminho que verifique a condição para um dos módulos Assign onde um contador é decrementado. Caso a referência da entidade não esteja específica no módulo Decide esta vai ser encaminhada para o próximo módulo Decide, que verifica qual a disponibilidade do elevador. Caso o elevador não esteja disponível ele entra num ciclo onde o módulo Delay, Atraso, encontra-se definido para incrementar em períodos de 0.1 segundos até o elevador estar disponível. Sendo verificada a disponibilidade do elevador, a entidade caixa avança para o módulo Decide seguinte. Este último módulo Decide da figura 5.11, verifica novamente qual a referência da entidade e encaminha-a segundo a condição. Se a referência detetada for igual a zero ele vai para o módulo Request, primeiro módulo apresentado na figura 5.12.

Efetuando o módulo Request, a entidade vai passar num modelo Assign, guardando o tempo de simulação numa variável definida. Os dois módulos Decide encontram-se a verificar se o AGV nº1 ou o AGV nº2 se encontram disponíveis. O primeiro módulo Decide que verificar a condição é por onde avança a entidade, sendo que enquanto não se verificar a disponibilidade de nenhum dos dois AGVs a entidade vai entrar em ciclo, incrementando 0.1 segundo no módulo delay.

Quando verificada a disponibilidade de um dos AGVs, é iniciada a busca por uma posição livre no armazém, a busca é realizada através do módulo Search. Encontrando uma posição livre a entidade segue para o módulo Allocate, onde é alocado o AGV. Na figura 5.13 é demonstrado o modo como é realizada a pesquisa no caso do AGV nº2, sendo que lógica é a mesma no caso do AGV nº1.

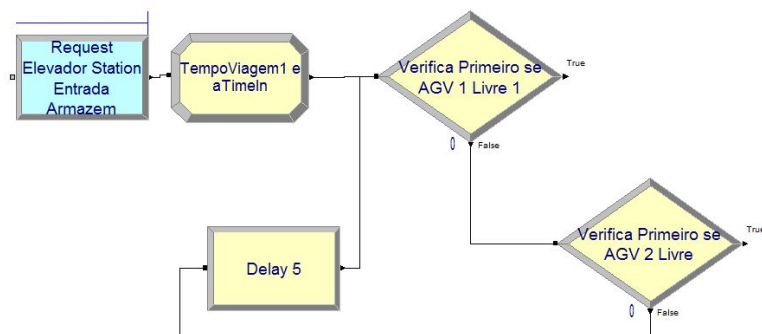


Figura 5.12: Lógica do Sistema 3

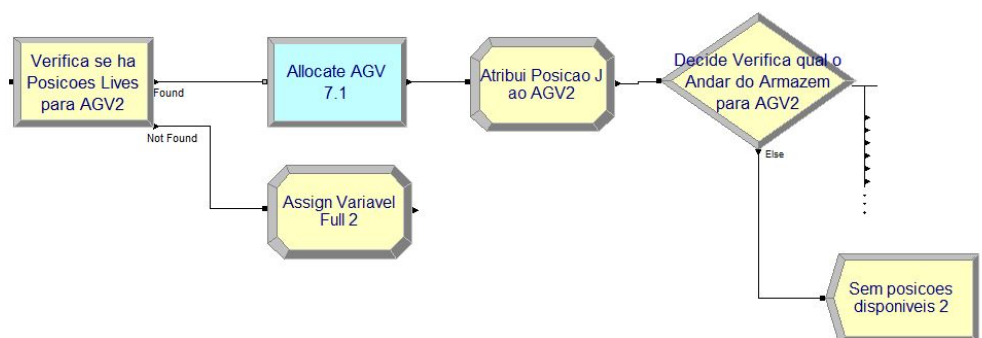


Figura 5.13: Lógica do Sistema 4

O AGV depois de alocado, a entidade entra no módulo Assign onde vai ser guardada a posição que esta vai ocupar no armazém. O módulo Decide seguinte permite decidir qual o andar para onde o AGV e a respetiva entidade se vão movimentar.

Na figura 5.14 encontra-se uma ilustração de uma lógica desenvolvida para a movimentação do elevador e do AGV.

O módulo Duplicate, duplica a entidade que entra, deste modo é possível transportar a caixa no elevador até ao andar desejado, e ao mesmo tempo iniciar a movimentação do AGV respetivo para a posição onde vai efetuar a recolha da entidade do elevador. Este módulo aparece doze vezes no sistema, sendo que existe uma lógica destas para a movimentação para cada um dos doze andares.

Sempre que o módulo Transport da figura anterior é ativo o próximo módulo do sistema a ficar ativo é o módulo Station da figura 5.15.

A lógica da figura 5.15 é utilizada em duas situações, quando se esta a retirar uma entidade caixa do armazém, ou quando se está a colocar lá uma. A quando da colocação da entidade no armazém é utilizada a lógica que foi verificada positivamente no módulo Decide. A lógica do

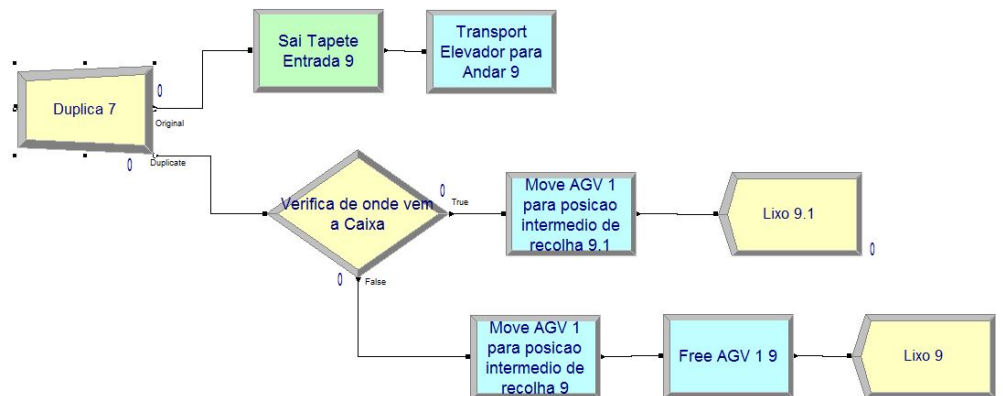


Figura 5.14: Lógica do Sistema 5

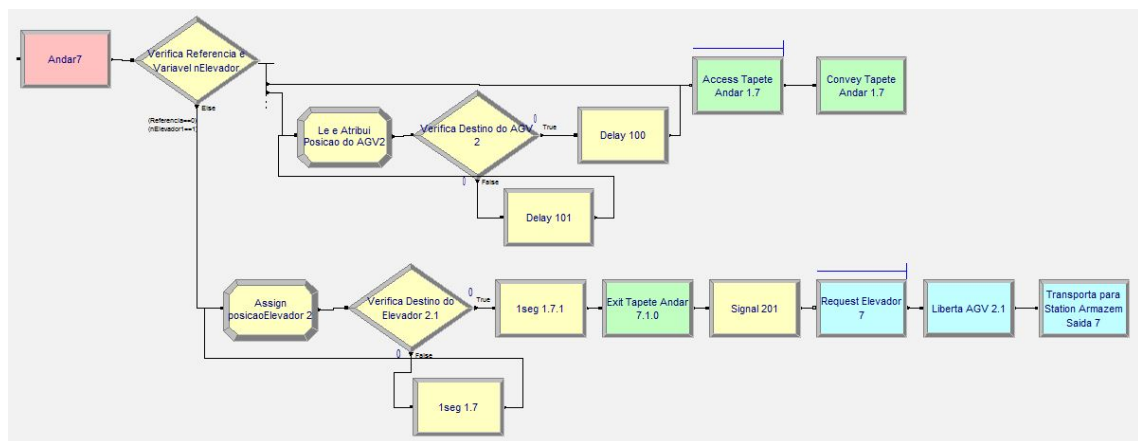


Figura 5.15: Lógica do Sistema 6

tapete, módulo Access mais módulo Convey, foi a forma escolhida para efetuar a transferência de entidades entre o elevador e os AGVs. O módulo Convey vai transportar a entidade para a Station que se encontra na figura 5.16. A segunda lógica da figura 5.16 é utilizada quando o percurso da caixa é o contrário, entre o AGV e o elevador.

A entidade chegando à estação no final do módulo Convey, espera que o AGV se encontre nessa mesma posição, para efetuar a sua recolha dessa posição. Esta forma de transferir as entidades neste ponto do sistema foi decidida pelo facto de na mesma interseção o sistema não permitir encontrarem-se mais do que um transportador.

A lógica da figura 5.16 é representado no sistema doze vezes, sendo que a cada representação esta associada a um andar.

O próximo bloco lógico desenvolvido, figura 5.17, permite o armazenamento das entidades no armazém. Foi decidido que cada entidade era guardada em uma Queue, sendo que cada Queue só permite uma entidade.

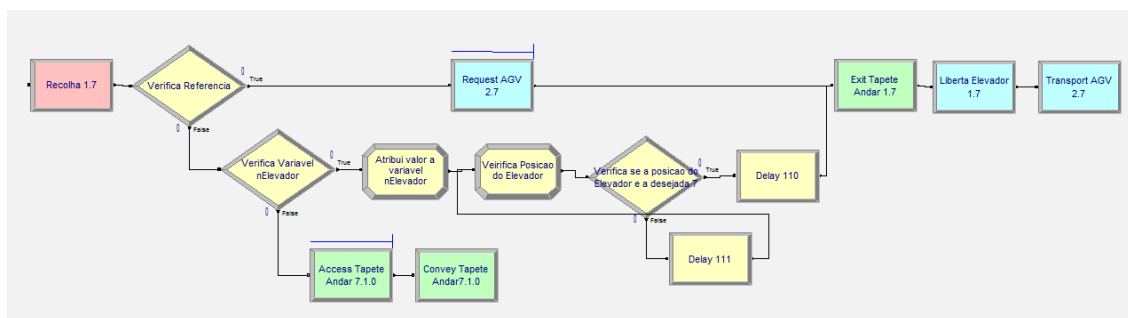


Figura 5.16: Lógica do Sistema 7

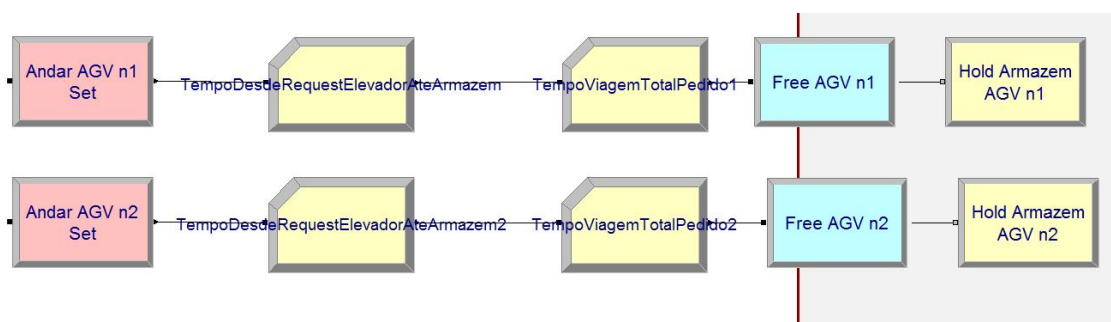


Figura 5.17: Lógica do Sistema 8

Como é possível observar na figura 5.17 as posições do armazém encontram-se definidas num módulo Station na opção Set. No interior do módulo Station foram definidas todas as interseções correspondentes às posições do armazém. Foram definidos dois módulos de forma a realizar uma divisão mais clara do armazém em duas zonas, onde a cada zona apenas um dos AGVs é que pode aceder.

Após os módulos Stations foram colocados módulos Record, que permitem efetuar a leitura de tempos em atributos definidos. Estes módulos vão permitir no final efetuar as leituras de tempo necessárias para perceber os tempos que demora a efetuar determinadas atividades. A seguir ao módulo Record é realizado o Free, libertação, do AGV que efetuou o percurso de colocar a entidade na posição do armazém, sendo que o módulo Hold permite segurar a entidade no armazém pelo intervalo de tempo que desejarmos.

Quando se efetua a tarefa de descarregar o caixa, que já foi vista anteriormente, o elevador após recolher a caixa no AGV vai transporta-la até ao módulo Station que representa a primeira posição da zona exterior do armazém, Station Armazém Saída. A figura 5.18 ilustra a estação e o sistema de tapetes a ela associados.

O elevador depois de deixar a entidade caixa na Station Armazém Saída, é libertado, ou seja, o recurso elevador fica livre para a lógica de controlo do sistema decidir a próxima tarefa que ele terá de efetuar. A Station Armazém Saída está associada ao sistema de tapetes que foram referidos inicialmente, que efetuam o percurso entre a entrada e saída do armazém.

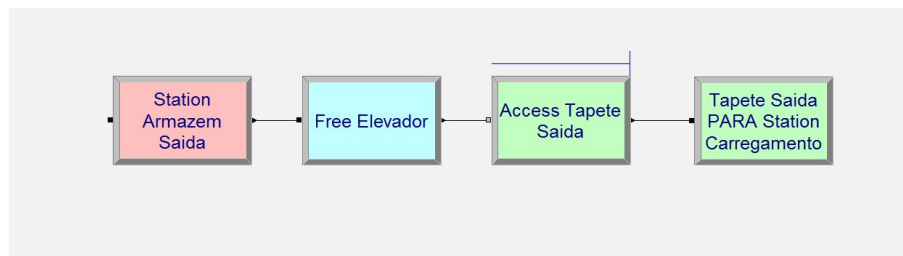


Figura 5.18: Lógica do Sistema 9

### 5.2.3.2 Lógica Pedidos Carregamento de Material

Para efetuar o carregamento das caixas vazias com material, foi desenvolvido um sistema que cria uma lista de pedidos, o sistema encontra-se presente na figura 5.19.

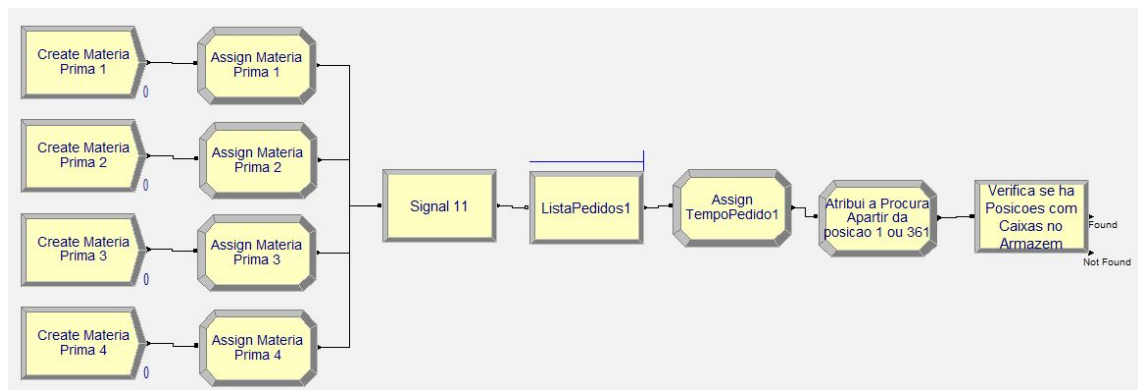


Figura 5.19: Lógica para Carregamento de Material 1

Como é possível observar na figura 5.19 existem quatro módulos Create, que criam as entidades que neste caso representam os pedidos de carregamento das caixas, cada um deles ligado a módulo Assign onde são atribuídas as características de cada pedido. Os pedidos são criados todos de uma só vez e ficam a aguardar a sua vez de serem processados no módulo Hold com o nome ListaPedidos1. Quando a lógica de controlo verifica que é necessário processar um pedido de carregamento envia o sinal respetivo para libertar o primeiro pedido que se encontra retido na primeira posição da fila no módulo Hold ListaPedidos1. Quando libertado o pedido este vai até um módulo de busca, Search, onde vai verificar se existe alguma posição no armazém com caixa. Encontrando uma posição com caixa, vai de seguida verificar qual a referência da caixa e qual a quantidade da caixa que foi encontrada no armazém. Esta lógica encontra-se representada na figura 5.20.

Encontrando uma caixa no armazém a lógica apresentada na figura 5.20 guarda a referência e a posição da caixa encontrada, e vai verificar se a referência da caixa é a que interessa. Caso a caixa seja o que o sistema necessita, o sistema guarda a posição e pede ao AGV responsável por essa zona do armazém para ir buscar a caixa para se efetuar o carregamento. Se a caixa

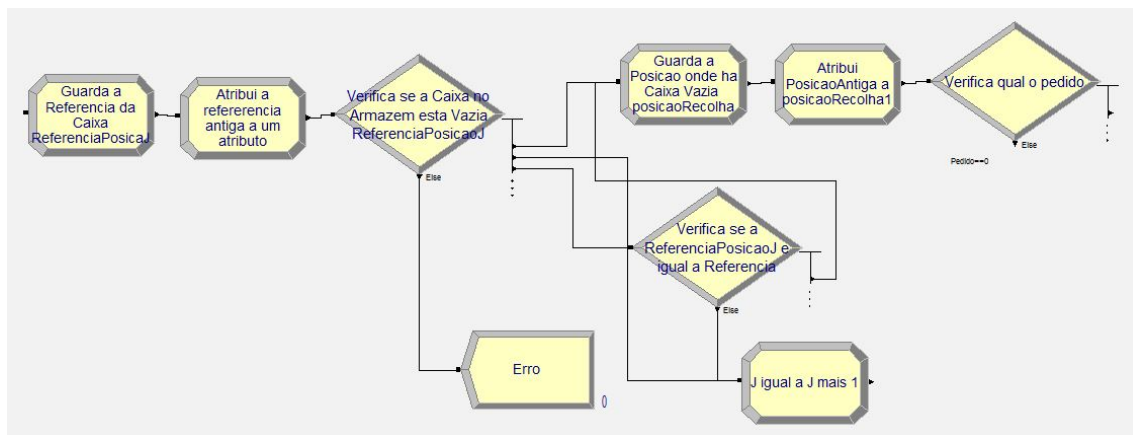


Figura 5.20: Lógica para Carregamento de Material 2

encontrada no armazém não for a pretendida é incrementada a variável de sistema J, e inicia-se uma nova verificação das posições do armazém até o pedido ser satisfeito, ou até se ter percorrido todas as posições e não ser possível satisfazê-lo. Caso não seja possível satisfazer o pedido, este é guardado numa fila, que permite no final analisar os pedidos que não foram tratados. A figura 5.20 é representativa da lógica do AGV nº1, mas foi criada uma lógica exatamente igual para o tratar os pedidos efetuados ao AGV nº2.

Depois de verificado que o pedido pode ser tratado e sabendo já a posição onde se encontra a caixa no armazém para a retirar, é agora necessário dar a ordem de recolha da caixa. Essa ordem está representada na figura 5.21.

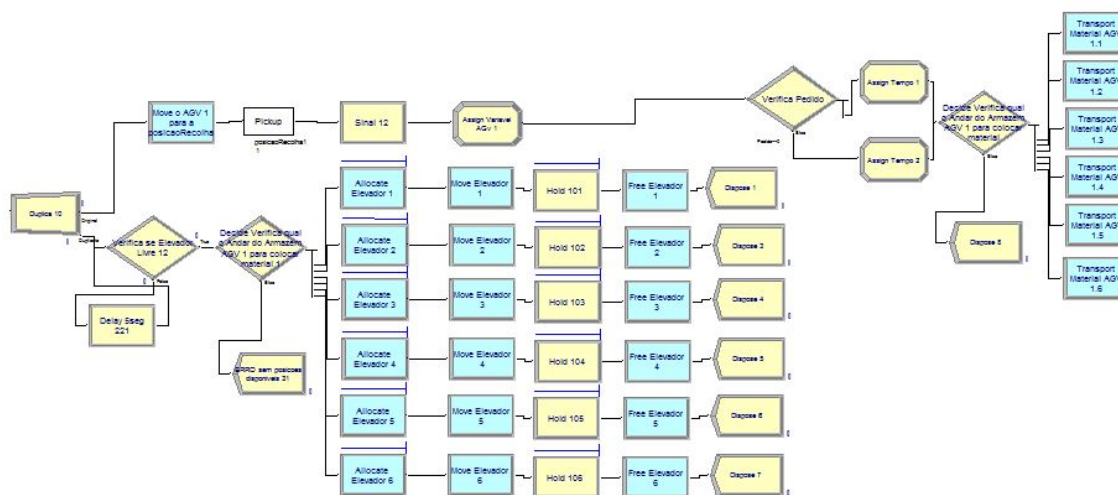


Figura 5.21: Lógica para Carregamento de Material 3

A entidade entrando no primeiro módulo representado na figura 5.21, módulo Duplicate, vai ser duplicada, iniciando em simultâneo duas tarefas. Na parte de cima da figura é possível reparar



que o AGV é movido para a posição onde se encontra a caixa a ser recolhida e após atingir essa posição o módulo pickup substitui as entidades. Como é possível observar quando a entidade inicial é duplicada, a segunda entidade é enviada para um módulo Decide que verifica a disponibilidade do Elevador. Quando a disponibilidade do elevador é verificada, vai de seguida verificar para que andar é que o elevador vai ter de se movimentar para efetuar a recolha. Sabendo qual é essa posição o elevador é alocado e movido para esse andar, ficando à espera que o AGV chegue ao mesmo ponto para efetuar a transferência da entidade, do AGV para o elevador. Este vai depois colocar a entidade que possui no tapete de saída do armazém, sendo que a entidade vai andar pelo sistema de tapetes até chegar a estação de entrada do armazém onde será recolhida e colocada novamente no armazém. A diferença é que a caixa quando foi retirada do armazém tinha uma quantidade de material igual a zero e neste momento quando volta para o armazém tem uma quantidade definida.

A figura 5.21 é representativa do modo de funcionamento para o AGV nº1, mas para o AGV nº2 existe um sistema igual.

### 5.2.3.3 Lógica Pedidos Ordem Produção

Para efetuar o descarregamento das caixas que anteriormente foram carregadas com material, foi desenvolvido um sistema que cria quatro listas de pedidos, o sistema encontra-se presente na figura 5.22.

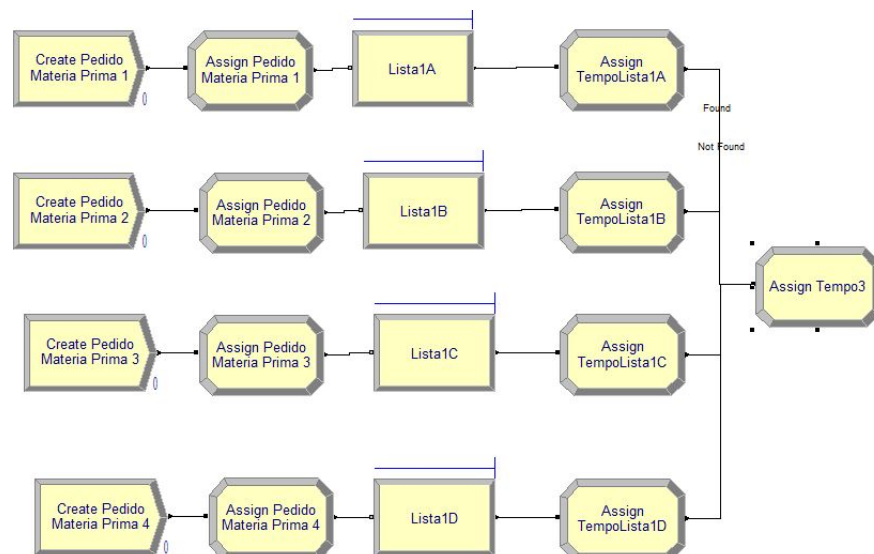


Figura 5.22: Lógica para Ordens de Produção

Na figura 5.22 é possível perceber que o sistema criado é muito semelhante ao sistema de carregamento de material, a grande diferença é que neste caso são criadas quatro listas de pedidos distintas.

Sempre que o sistema de controlo verifica que é necessário satisfazer um pedido de produção, o sistema sabe que necessita de uma caixa de cada referência, ou seja, o sistema vai proceder à



satisfação do pedido retirando um pedido de cada uma das listas a apresentadas na figura, Lista1A, Lista1B, Lista1C e Lista1D.

Quando o sistema de controlo imitar o sinal que vai libertar cada um dos pedidos, estes vão utilizar o sistema de verificação de caixas no armazém e de quantidades que estão explicados na secção da lógica de carregamento de pedidos, secção anterior.

#### 5.2.3.4 Animação

Para ilustrar o funcionamento do sistema foi realizada uma pequena animação. Esta é simples mas bastante fácil para ser possível rapidamente perceber o modo de funcionamento do armazém.

Na figura 5.23 está representada a animação utilizada, as posições de armazenagem de caixas não se encontram todas representadas, estando apenas representadas as posições iniciais de cada andar.

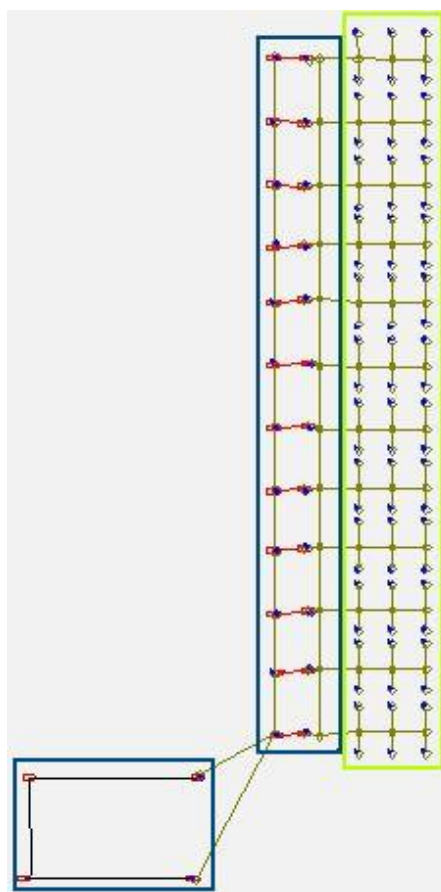


Figura 5.23: Representação da Animação do Armazém

A zona que se encontra mais à esquerda representa o sistema de tapetes, os quais são considerados apenas como um ponto de passagem.

A zona que se encontra ao centro representa o ponto de transferência das caixas entre o elevador horizontal e os AGVs.

A zona que se encontra seleccionada a verde representa as posições iniciais do armazém e o caminho que os AGVs têm que realizar para alcançar essas posições.

Para representar o(s) AGV(s) e o Elevador foi definida a seguinte figura 5.24.



Figura 5.24: Representação da Animação do AGV e Elevador



## Capítulo 6

# Resultados

### 6.1 Introdução

No capítulo anterior apresentou-se o processo de conceção e desenvolvimento do modelo de simulação efetuado, para a movimentação de materiais num armazém, recorrendo a ferramenta Arena. Neste capítulo descreve-se o modo como o sistema foi validado, e apresentam-se os resultados obtidos.

### 6.2 Verificação e Validação do Modelo

Todo o processo de desenvolvimento e estudo de um modelo de simulação deve passar por um conjunto de fases bem definidas, permitindo verificar se o modelo de simulação foi desenvolvido e implementado corretamente. Estas fases encontram-se descritas na figura 2.5.

Durante as primeiras 4 (quatro) etapas, apresentadas na figura 2.5, sempre que se acrescentava uma nova funcionalidade ao modelo de simulação eram realizados de seguida testes, etapa 5 (cinco), de forma a verificar qual a evolução e comportamento da simulação devido ao acréscimo de detalhe ou restrições colocadas. A simulação desenvolvida consistiu no desenvolvimento de um modelo evolutivo, inicialmente desenhou-se o modelo genérico e foi-se acrescentando as funcionalidades necessárias para o modelo ir de encontro ao que era pretendido.

A utilização individual da técnica apresentada na figura 2.5, não garante por si só a correta implementação do modelo de simulação desenvolvido, nem a sua adequação aos objetivos pretendidos. Nesse sentido foram criadas algumas variáveis no modelo de simulação que permitissem efetuar algumas leituras instantâneas em pontos críticos do sistema, colocando esses valores lado a lado com a simulação permitindo ter uma maior perceção da sua evolução com o modelo e com o tempo de simulação. O controlador de execução possibilitou também uma monitorização do estado das variáveis e o controlo da execução do modelo de um modo interativo, ou seja, permitiu executar o modelo passo a passo, suspender a simulação em alturas estratégicas e pontos críticos, sendo possível desta maneira analisar os dados e resultados obtidos até aquele instante. Foram também alteradas durante a simulação algumas variáveis de modo a introduzir erros, permitindo

perceber qual a resposta do sistema a determinada situação incorreta. Os parâmetros de entrada foram alterados ao longo da execução da simulação, o que permitiu avaliar o comportamento do modelo e verificar como variavam e se comportavam os parâmetros de saída. A observação do modelo de animação também permitiu a detecção de pequenos erros que de outro modo não seriam detetados.

Quando um modelo de simulação é muito complexo, ou se o sistema a modelar não existir, a dificuldade em validar o modelo de simulação aumenta. Neste caso de estudo o sistema a modelar não existe, sendo por isso difícil de confirmar a sua validade. No entanto, é possível verificar que o sistema se encontra a operar de forma correta, ou seja, o modelo conceptual foi transcrito de forma adequada para o modelo de simulação. É no entanto fácil perceber que algumas das abstrações que foram consideradas no modelo de simulação têm um impacto nos resultados obtidos, não sendo possível no entanto saber exatamente qual o seu verdadeiro impacto.

No modelo de simulação alguns dos pontos mais importantes que foram alvo de maior monitorização passaram pela entrada de caixas no sistema, elaboração da lista de pedidos, ocupação do armazém, ocupação de recursos, e em especial o algoritmo que controlava as prioridades do sistema.

É possível afirmar que o conjunto de técnicas utilizadas permitiu confirmar o correto desenvolvimento do modelo de simulação, sendo possível prosseguir o estudo e passar às fases de experimentação e análise de resultados.

### 6.3 Cenários de Simulação

O caso de estudo presente nesta dissertação tinha por objetivo simular e estudar vários cenários de ordens de produção, de forma a ser possível entender qual o momento em que para um determinado cenário de produção um armazém deixa de ter capacidade de satisfazer a cadência necessária.

Com esse objetivo foram criados 4 (quatro) cenários, que se encontram representados na tabela 6.1.

Analisando os cenários criados, verifica-se que o primeiro cenário a ser simulado necessita de 100 (cem) caixas para satisfazer as encomendas, como cada ordem de produção tem 4 (quatro) referências diferentes para este primeiro cenário vai ser necessário retirar 400 (quatrocentas) caixas do armazém e voltar a coloca-las de volta perfazendo um total de 800 (oitocentos) movimentos necessários.

No segundo cenário criado são necessárias retirar 500 (quinhentas) caixas do armazém, perfazendo um total de 1000 (mil) movimentos necessários.

No terceiro cenário a produção diária aumenta e a média de pares por encomenda baixa, significando um aumento do número de caixas que são necessárias processar. Neste caso são necessárias 600 (seiscentas) caixas para cumprir os requisitos de produção, o que implica um total de 1200 (mil e duzentas) caixas que necessitam de ser movimentadas.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Produção Diária (pares)	1000	1000	1200	Todas as Caixas são Necessárias
Média de Encomendas (pares)	100	100	80	
Nº de Referências por Encomenda	4	4	4	
Quantidade Guardada por Caixa (pares)	10	8	8	
Nº de Caixas (pedidos)	400	500	600	720
Nº de Movimentos a Efetuar	800	1000	1200	1440

Figura 6.1: Cenários de Produção

No quarto e último cenário optou-se pelo caso mais extremo, onde é necessário processar todas as caixas existentes no armazém de modo a cumprir os requisitos de produção. O armazém tem uma capacidade para um total de 720 (setecentas e vinte) caixas que necessitam de ser todas processadas, ou seja, são necessários 1440 (mil quatrocentos e quarenta) movimentos para satisfazer este cenário.

Todos estes cenários foram simulados, e os resultados obtidos encontram-se na secção seguinte.

## 6.4 Resultados Obtidos

O modelo de simulação foi executado para os cenários que se encontram descritos na secção anterior, tabela 6.1. De seguida serão apresentadas algumas tabelas resumo dos cenários simulados. A análise comparativa dos vários cenários não pretende ser exaustiva, apenas vão ser aprestados os dados mais importantes.

Inicialmente para a simulação dos quatro cenários referidos, apenas se considerou a existência de um único AGV que percorre todos os 12 (doze) andares do armazém. Os primeiros resultados obtidos para estes cenários recorrendo apenas a 1 (um) AGV encontram-se na tabela 6.2.

Analisando estes primeiros resultados é possível observar que para o cenário um e dois é possível num dia de trabalho, 8Horas que é igual a 480Minutos, processar as ordens de produção necessárias recorrendo a um único AGV. Por outro lado verifica-se que para o cenário três e quatro não é possível processar os pedidos de produção num período de 480Minutos. Na tabela é ainda possível observar que com o aumento do número de caixas a processar o tempo médio que demora a processar cada caixa vai aumentando progressivamente.

Na figura 6.3 estão representados os valores das taxas de utilização dos recursos do armazém, neste caso do elevador e do AGV.

Observando a tabela é possível verificar que ao longo dos cenários as taxas de utilização se mantêm relativamente constantes. A taxa de utilização do elevador é mais elevada do que aquela

		Tempo para Movimentação de Caixas (H:M:S)	Tempo Médio Movimentação de Caixa (H:M:S)
Cenário 1		05:54:36	00:00:27
Cenário 2		07:29:43	00:00:27
Cenário 3		09:15:24	00:00:28
Cenário 4		11:27:18	0:00:29

Figura 6.2: Tempos de Simulação Obtidos para os Cenários com um AGV

		Taxa de Ocupação (%)	
		Elevador	AGV
Cenário 1		88%	91%
Cenário 2		88%	91%
Cenário 3		87%	91%
Cenário 4		87%	91%

Figura 6.3: Taxas de Ocupação para a Simulação dos Cenários com um AGV

que se poderia pensar de início, o motivo para ser tão alta prende-se com o facto de o elevador ter de aguardar a maior parte das vezes pelo AGV para efetuar a carga e descarga das caixas, enquanto aguarda pelo AGV o elevador encontra-se ocupado.

Depois de observados e analisados os dados para os cenários de simulação recorrendo a um AGV, realizou-se a simulação recorrendo a dois AGV's simulando para os cenários três e quatro, que foram aqueles que não conseguiram cumprir os requisitos de produção diária para um período de 480Minutos. Os valores obtidos para estas simulações encontram-se na tabela seguinte.

		Tempo para Movimentação de Caixas (H:M:S)	Tempo Médio Movimentação de Caixa (H:M:S)
Cenário 3		06:34:20	00:00:20
Cenário 4		07:54:14	00:00:20

Figura 6.4: Tempos de Simulação Obtidos para os Cenários com dois AGV

Analisando os valores obtidos na simulação recorrendo a dois AGVs é possível observar que neste caso é possível satisfazer os dois cenários de produção mais exigentes num tempo inferior a 480Minutos. É possível verificar que comparando os valores do tempo médio de movimentação de uma caixa do cenário onde se recorre a um AGV, 6.2, e do cenário onde se recorre a dois AGVs, 6.4, este tempo é substancialmente inferior quando se recorre a dois AGVs.

Na figura 6.5 estão representados os valores das taxas de utilização dos recursos do armazém, neste caso do elevador, do AGV nº1 e do AGV nº2.

	Taxa de Ocupação (%)		
	Elevador	AGV nº1	AGV nº2
Cenário 3	98%	66%	55%
Cenário 4	96%	57%	60%

Figura 6.5: Taxas de Ocupação para a Simulação dos Cenários com dois AGV

Observando a figura 6.5, é possível verificar que o elevador apresenta uma taxa de utilização muito superior a qualquer um dos AGVs. Por seu lado os AGVs apresentam taxas de utilização que variam entre os 55% e os 66%.

Pode-se concluir que para estes dois cenários o elevador está a limitar o funcionamento do sistema, apresentando-se como o *bottleneck*. Numa situação como esta é irrealista pensar em aumentar o número de AGVs. Caso exista a necessidade de aumentar a cadência do armazém é necessário arranjar uma alternativa ao elevador, podendo a solução passar por um elevador mais rápido ou pela elaboração de uma nova solução que contemple dois elevadores, por exemplo, um em cada extremidade do armazém.





## Capítulo 7

# Conclusões e Trabalho Futuro

### 7.1 Conclusões

O trabalho descrito nesta dissertação consistiu na conceção e desenvolvimento de um modelo de simulação de um sistema de logística interna.

O sistema de logística interna é composto por um sistema de armazenamento automático que recorre ao uso de AGVs, e a um sistema de movimentação exterior ao armazém que é realizado recorrendo ao uso de tapetes. O objetivo é movimentar e armazenar caixas de forma correta e eficiente, até as mesmas serem necessárias.

A melhoria nos sistemas de movimentação e de armazenamento assumem cada vez mais um papel importante nas empresas, pois permitem uma melhoria de produtividade. Estes sistemas afetam a produtividade global de uma empresa na medida em que se encontram diretamente relacionadas e dependentes da eficácia e eficiência.

Foi desenvolvida uma pequena animação que permite realizar uma visualização da dinâmica do sistema desenvolvido, o modelo foi definido recorrendo a alguns objetos incluídos na ferramenta Arena. A animação permite de modo mais intuitivo perceber o seu funcionamento ao longo do tempo de simulação.

O sistema desenvolvido nesta dissertação permite entender qual é o ponto, em que para um problema como o descrito, a solução de um AGV não é capaz de satisfazer a cadência necessária ao retirar caixas de um armazém com estes parâmetros. Permitindo identificar o *bottleneck*.

Depois de realizado este estudo e analisados os resultados obtidos para os cenários em causa, é possível perceber o ponto de viragem num sistema como o desenvolvido.

### 7.2 Trabalhos Futuros

O sector têxtil, e mais especificamente o sector do calçado, passa por tempos complicados em Portugal. É por isso de vital importância a otimização dos processos e em particular a redução de custos, tempos de produção e transporte de materiais entre os vários postos no interior de uma empresa.

O trabalho desenvolvido vai no sentido de ajudar a perceber que é possível obter ganhos significativos de tempo recorrendo e implementando sistemas como o descrito ao longo desta dissertação.

Para trabalhos futuros prevê-se a necessidade de otimizar a solução no cenário em que são utilizados dois AGVs. A solução do modo como está definida não tira o máximo de rentabilidade possível de todos os recursos.

A integração do Arena com um outro software que permita a criação de uma interface para a inserção de dados e parâmetros é algo que deve ser desenvolvido. Cada cenário é diferente e não existem dois problemas iguais, existindo por isso vantagem no desenvolvimento de uma simulação que aceite parâmetros colocados por um utilizador.

**Anexo A**

**Anexos**

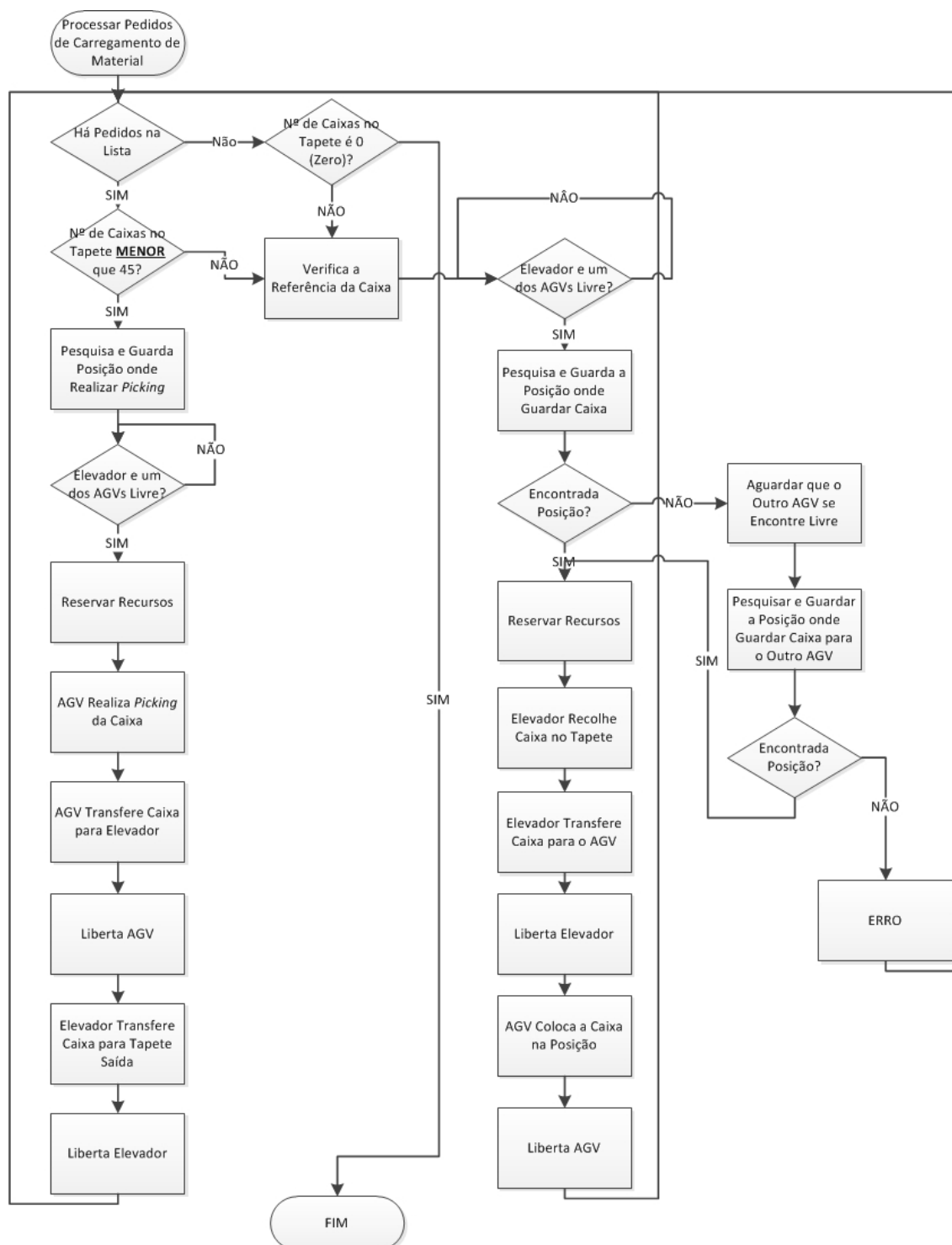


Figura A.1: Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Carregamento de Material

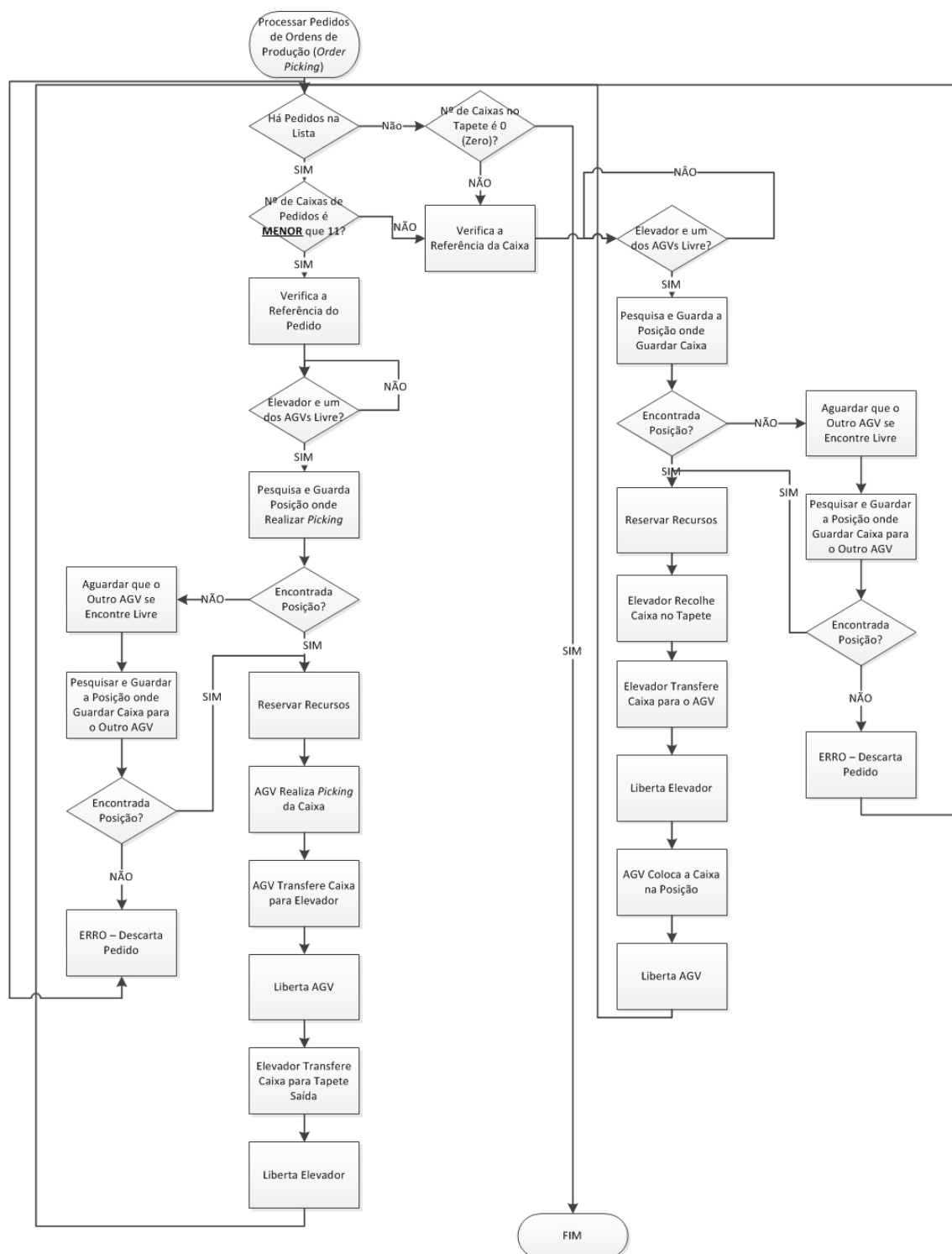


Figura A.2: Lógica de Controlo - Processar Pedidos de Ordens de Produção



# Referências

- [1] Ronald H. Ballou. Business logistics management, 1999. Prentice-Hall Inc.
- [2] Michael E. Porter. Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência, 1989. Rio de Janeiro: Campus.
- [3] Alcibíades Guedes. Apontamentos de organização e gestão de empresas, 2010. FEUP.
- [4] Alcibíades Guedes. Logística e gestão da cadeia de abastecimento, 2010. Edições Sílabo Lda.
- [5] Alcibíades Guedes. Apontamentos de logística, 2010. FEUP.
- [6] R.P. Sadowski W.D. Kelton e D.T. Sturrock. Simulation with arena, 2003. McGraw-Hill Professional.
- [7] R.G. Ingals. Introduction to simulation, 2002. in Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.
- [8] J. Banks. Introduction to simulation, 2000. in Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.
- [9] R.E. Shannon. Introduction to the art and science of simulation, 1998. in Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [10] M. E. Diniz. Um modelo de apoio à tomada de decisões para solução do problema de balanceamento de linha de montagem: Estudo de uma manufatura eletrônica, 2000.
- [11] A. E. Brito e J. F. Teixeira. Simulação por computador fundamentos e implementação de código em c e c++, 2001.
- [12] P. J. Sánchez. Fundamentals of simulation modelling, 2007. in Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference.
- [13] Maria e Anu. Introduction to modelling and simulation, 1997. in Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.
- [14] Benjamin Melamed Reuven Y. Rubinstein. Modernsimulation and modeling, 1998. A Wiley-Interscience Publication.
- [15] W. D. Kelton e A. M. Law. Simulation modeling analysis, 2000. McGraw Hill Higher Education.
- [16] Isabel Hall Themido F.Nunes Correira L. Valadares Tavares, Rui Carvalho Oliverira. Investigação operacional. A Wiley-Interscience Publication.



- [17] Wayne L. Winston. Operations research applications and algorithms, 1991. Second Edition, PWS-Kent Publishing Company.
- [18] Feliz J. Manuel Teixeira Brito, António E. S. Carvalho. Simulação por computador, 2001. Publindústria Editor.
- [19] A.M. Law. How to build valid and credible simulation models, 2006. in Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
- [20] Carson II J. S. Barry L. N. Banks, J. Discret-event system simulation, 1996. 2<sup>a</sup>ed, PrenticeHall.
- [21] A. F. d. O. Paiva. Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria têxtil, 2005. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas.
- [22] M. J. Marcelino e T.Mendes. Estratégias e ferramentas de simulação para construção de programas educativos de simulação. Centro de Informática e Sistemas – Universidade de Coimbra.